

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN VIALIDAD Y TRANSPORTES

RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER
EN VIALIDAD Y TRANSPORTES

AUTORES:

CRISTIAN ANTONIO FLORES SIGUENZA
C.I.: 0603004524

MARIO ESTUARDO VÁSQUEZ FLORES
C.I.: 0102263696

DIRECTOR:

JAIME ASDRÚBAL BOJORQUE IÑEGUEZ, PhD
C.I.: 0102857885

**CUENCA – ECUADOR
2017**



RESUMEN

En el Ecuador el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) administra aproximadamente 9,800 km de vías, la mayoría con capa de rodadura constituida por mezcla asfáltica en caliente, cuya calidad es controlada principalmente a través de los parámetros obtenidos mediante el método Marshall durante el tendido del asfalto. La presente investigación propone una alternativa para el control de calidad en vías de hormigón asfáltico, donde por cualquier razón no se pudo realizar éste al inicio.

Para ello, en dos tramos seleccionados en la vía Gualaceo – Plan de Milagro se realizó el control de calidad durante la pavimentación y posteriormente, luego de ésta, se repitieron los ensayos en núcleos extraídos en los mismos puntos, después de 30 y 60 días.

Se determinó que los parámetros de granulometría, porcentaje de vacíos, vacíos en el agregado mineral (VAM), vacíos rellenos de asfalto (VFA), contenido de betún asfáltico y relación filler/betún, no varían de manera significativa, manteniéndose en los rangos requeridos en las especificaciones técnicas del MTO, por tanto, los ensayos realizados en núcleos extraídos pueden ser considerados adecuados como criterio de verificación de dichos parámetros de mezclas asfálticas en caliente.

Por otra parte, los valores de estabilidad y flujo del ensayo Marshall incrementan, estableciendo una relación que permita verificar la calidad de la mezcla mediante la elaboración de ensayos Marshall en núcleos extraídos posteriormente a la pavimentación.

PALABRAS CLAVE: Mezcla asfáltica, ensayos Marshall, estabilidad, flujo, control de calidad, especificaciones.



ABSTRACT

In Ecuador, the Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) manages approximately 9,800 km of roads, most of which have a paved roadway formed by hot asphalt mixture, the quality of which is controlled mainly through the parameters obtained by the Marshall method during the laying. The present research proposes an alternative for the quality control in asphalt concrete roads, where for any reason it could not be done at the beginning.

For this, in two sections selected in the Gualaceo – Plan de Milagro road, quality control was carried out during paving and afterwards, the tests were repeated in cores extracted at the same points, after 30 and 60 days.

It was determined that the parameters of granulometry, percentage of voids, voids in the mineral aggregate (VMA), voids filled with asphalt (VFA), asphalt binder content and filler-bitumen ratio, do not vary significantly, keeping within the ranges required in the technical specifications of the MTOP, therefore, the tests carried out on extracted field cores can be considered adequate as a criteria for verification of these quality parameters of hot asphalt mixtures.

On the other hand, the values of Marshall properties stability and flow increase, establishing a relation that allows to verify the quality of the mixture through the elaboration of Marshall tests on field cores extracted after the paving.

KEYWORDS: Asphalt mix, Marshall test, stability, flow, quality control, specifications.



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	3
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	4
CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR	8
CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL	10
AGRADECIMIENTO	12
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 ANTECEDENTES	14
1.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	15
1.3 JUSTIFICACIÓN	16
1.4 OBJETIVOS	16
1.4.1 Objetivo general	16
1.4.2 Objetivos específicos.....	16
1.5 METODOLOGÍA.....	17
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1 ESTADO DEL ARTE.....	18
2.2 MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	20
2.2.1 Cemento asfáltico.....	20
2.2.2 Agregados	21
2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	23
2.4 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	23
2.4.1 Propiedades de una mezcla asfáltica en caliente	24
2.5 MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	26
2.6 MÉTODO MARSHALL	26
2.6.1 Preparación para efectuar los procedimientos Marshall	26
2.6.1.1 Preparación del agregado	27
2.6.1.2 Preparación de briquetas para el ensayo.....	27
2.6.2 Procedimiento ensayo Marshall	28
2.6.2.1 Relaciones gravimétrica y volumétrica	28
2.6.2.2 Ensayo de estabilidad y fluencia	30
2.7 ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (ASTM D6927-15).....	31
2.7.1 Procedimiento.....	35
2.7.2 Cálculo.....	35
2.7.3 Precisión.....	36
2.8 CONTROL DE CALIDAD, MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
2.8.1 Agregados	38
2.8.2 Cemento asfáltico.....	39
2.8.3 Mezcla asfáltica	40
3. MEZCLA ASFÁLTICA VÍA GUALACEO – PLAN DE MILAGRO	43
3.1 TRÁFICO Y EJES EQUIVALENTES (ESALs).....	43
3.2 FUENTE DE MATERIALES.....	44
3.3 CEMENTO ASFÁLTICO.....	45
3.4 AGREGADOS	47



3.5	MEZCLA ASFÁLTICA.....	50
3.5.1	Tramo de prueba.....	52
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	54
4.1	OBTENCIÓN DE DATOS	54
4.2	FORMATOS PARA PROCESAMIENTO DE DATOS.....	55
4.3	RESULTADOS DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	58
4.3.1	Control de temperatura.....	59
4.3.2	Control de compactación.....	60
4.3.3	Confección y prueba de briquetas.....	61
4.4	METODOLOGÍA ESTADÍSTICA	65
4.4.1	Boxplot.....	65
4.4.2	Hipótesis nula e hipótesis alternativa	66
4.4.3	Test de Shapiro-Wilk	67
4.4.4	Prueba T de Student	70
4.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS EN NÚCLEOS	72
4.5.1	Densidad BULK	74
4.5.2	Densidad máxima teórica o RICE	75
4.5.3	Granulometría.....	76
4.5.4	Porcentaje de vacíos.....	77
4.5.5	Vacíos en el agregado mineral (VAM)	80
4.5.6	Vacíos rellenos de asfalto (VFA)	81
4.5.7	Contenido de betún asfáltico	82
4.5.8	Relación filler/betún	83
4.5.9	Estabilidad	84
4.5.10	Flujo o fluencia	88
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
5.1	CONCLUSIONES.....	94
5.2	RECOMENDACIONES	95
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Carretera Gualaceo – Plan de Milagro.	15
Figura 2-1: Determinación de flujo para dos tipos de fallas en la muestra [2].	32
Figura 2-2: Dimensiones de la cabeza de prueba [2].	33
Figura 2-3: Máquina de carga de compresión [2].	34
Figura 2-4: Ejemplo de medición de flujo [2].	34
Figura 3-1: Ubicación fuentes de materiales (áridos).	45
Figura 3-2: Curva viscosidad – temperatura cemento asfáltico tipo AC-20.	46
Figura 3-3: Curvas de diseño Marshall.	51
Figura 3-4: Compactación con rodillo tándem de 8 toneladas.	52
Figura 3-5: Acabado y compactación con rodillo neumático.	53
Figura 4-1: Determinación gravedad específica RICE.	55
Figura 4-2: Resultados ensayo Marshall.	57
Figura 4-3: Determinación estabilidad – flujo, conforme Norma ASTM D6927-15.	58
Figura 4-4: Control de temperatura previo a la compactación.	59
Figura 4-5: Control de densidad en tendido de asfalto.	60



Figura 4-6: Elaboración de briqueta en campo.	62
Figura 4-7: Juego de briquetas.	62
Figura 4-8: Verificación de temperatura de las briquetas para el ensayo Marshall.	63
Figura 4-9: Ensayo en prensa Marshall.	63
Figura 4-10: Detalle tipo de un boxplot [11].	66
Figura 4-11: Región de rechazo para Hipótesis Nula en pruebas de una y dos colas [12].	67
Figura 4-12: Carga de datos estabilidad en el programa R.	69
Figura 4-13: Test de Shapiro-Wilk para datos estabilidad.	69
Figura 4-14: Datos para prueba T de Student entre estabilidad 0 y 30 días.	71
Figura 4-15: Resultados prueba T de Student entre estabilidad 0 y 30 días.	72
Figura 4-16: Extracción de núcleos.	72
Figura 4-17: Núcleos para ensayo Marshall.	73
Figura 4-18: Boxplot densidad Bulk.	75
Figura 4-19: Resultados densidad Bulk.	75
Figura 4-20: Granulometría briqueta abscisa 0+993.	76
Figura 4-21: Granulometría núcleo a los 30 días abscisa 0+993.	77
Figura 4-22: Granulometría núcleo a los 60 días abscisa 0+993.	77
Figura 4-23: Boxplot porcentaje de vacíos.	78
Figura 4-24: Resultados porcentaje de vacíos.	79
Figura 4-25: Resultados vacíos en el agregado mineral (VAM).	81
Figura 4-26: Resultados vacíos rellenos de asfalto (VFA).	82
Figura 4-27: Resultados contenido de betún asfáltico.	83
Figura 4-28: Resultados relación filler/betún.	84
Figura 4-29: Resultados estabilidad.	85
Figura 4-30: Boxplot estabilidad briquetas – núcleos.	86
Figura 4-31: Regresión lineal para estabilidad en el tiempo.	88
Figura 4-32: Resultados flujo briquetas – núcleos.	89
Figura 4-33: Histograma de flujo en briquetas.	90
Figura 4-34: Histograma de flujo en núcleos a 30 días.	90
Figura 4-35: Histograma de flujo en núcleos a 60 días.	91
Figura 4-36: Boxplot flujo briquetas – núcleos.	91
Figura 4-37: Regresión lineal para flujo en el tiempo.	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Clasificación de mezclas asfálticas [4].	23
Tabla 2-2: Factores de correlación de la estabilidad [2].	36
Tabla 2-3: Rango de aceptabilidad para la estabilidad [2].	37
Tabla 2-4: Rango de aceptabilidad para el flujo [2].	37
Tabla 2-5: Ensayos básicos para el control de calidad de mezclas asfálticas [1].	38
Tabla 2-6: Granulometría para mezclas asfálticas (Tabla 405.5.1) [1].	38
Tabla 2-7: Requisitos de calidad agregados para mezclas asfálticas.	39
Tabla 2-8: Requisitos cemento asfáltico (Tabla 810.2.1) [1].	39
Tabla 2-9: Requisitos especificados para la mezcla asfáltica (Tabla 405.5.4) [1].	41
Tabla 2-10: Porcentaje mínimo de vacíos agregado mineral (VAM).	41
Tabla 2-11: Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto [3].	41
Tabla 2-12: Tolerancias.	41
Tabla 2-13: Clasificación de tráfico según IMDP [1].	42
Tabla 3-1: Tráfico proyectado para la vía Gualaceo – Plan de Milagro.	44
Tabla 3-2: Tráfico proyectado acumulado para la vía Gualaceo – Plan de Milagro.	44
Tabla 3-3: Parámetros que debe cumplir el cemento asfáltico.	46
Tabla 3-4: Resultados de los ensayos en el cemento asfáltico tipo AC-20.	46
Tabla 3-5: Proporción uso de agregados.	47
Tabla 3-6: Granulometría agregados – faja de diseño.	47



Tabla 3-7: Granulometría agregados combinados.....	48
Tabla 3-8: Granulometría agregados – faja de trabajo.....	49
Tabla 3-9: Peso específico agregados.....	49
Tabla 3-10: Resultados ensayos de laboratorio agregados.	50
Tabla 3-11: Parámetros que debe cumplir la mezcla asfáltica.	50
Tabla 3-12: Diseño Marshall para 4% de vacíos. Vía Gualaceo – Plan de Milagro.	50
Tabla 3-13: Resultados de comprobación del diseño Marshall.	51
Tabla 4-1: Datos generales muestras en acceso a Huaymincay.....	54
Tabla 4-2: Datos generales muestras en acceso a Guazhalán.	55
Tabla 4-3: Control de temperatura.	59
Tabla 4-4: Resultados densidades - grado de compactación.	61
Tabla 4-5: Resumen resultados briquetas.	64
Tabla 4-6: Resultados densidad Bulk.	74
Tabla 4-7: Densidad máxima teórica o RICE determinado en bloques.	76
Tabla 4-8: Porcentaje de vacíos.....	78
Tabla 4-9: Resultados test de Shapiro-Wilk para datos de porcentaje de vacíos.	79
Tabla 4-10: Hipótesis nulas y alternativas para comparación de medias de % de vacíos.	80
Tabla 4-11: Resultados T de Student para datos de porcentaje de vacíos.	80
Tabla 4-12: Vacíos en el agregado mineral (VAM).	81
Tabla 4-13: Vacíos rellenos de asfalto (VFA).	82
Tabla 4-14: Contenido de betún asfáltico.	83
Tabla 4-15: Relación filler/betún.....	83
Tabla 4-16: Resultados valores de estabilidad para briquetas y núcleos.....	85
Tabla 4-17: Resultados test de Shapiro-Wilk para datos de estabilidad.	86
Tabla 4-18: Hipótesis nulas y alternativas para comparación de medias de estabilidad.	87
Tabla 4-19: Resultados T de Student para datos de estabilidad.	87
Tabla 4-20: Resumen estabilidad según tiempo.	87
Tabla 4-21: Resultados valores de flujo para briquetas y núcleos.	89
Tabla 4-22: Resultados test de Shapiro-Wilk para datos de flujo.	92
Tabla 4-23: Hipótesis nulas y alternativas para comparación de medias de flujo.	92
Tabla 4-24: Resultados T de Student para datos de flujo.....	92
Tabla 4-25: Resumen flujo según tiempo.	93

ANEXOS

Anexo 1	Ensayos de laboratorio para verificación diseño Marshall
Anexo 2	Ensayos de laboratorio para control de calidad en briquetas
Anexo 3	Ensayos de laboratorio en núcleos extraídos a los 30 días
Anexo 4	Ensayos de laboratorio en núcleos extraídos a los 60 días
Anexo 5	Cálculos estadísticos



CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR

CRISTIAN ANTONIO FLORES SIGUENZA, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de la tesis "RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 31 de agosto de 2017

CRISTIAN ANTONIO FLORES SIGUENZA
CC: 0603004524

Cristian Antonio Flores Siguenza
Mario Estuardo Vásquez Flores



CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR

MARIO ESTUARDO VÁSQUEZ FLORES, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de la tesis "RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 31 de agosto de 2017

MARIO ESTUARDO VÁSQUEZ FLORES
CC: 0102263696

Cristian Antonio Flores Siguenza
Mario Estuardo Vásquez Flores



CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

CRISTIAN ANTONIO FLORES SIGUENZA, autor de la tesis "RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 31 de agosto de 2017

CRISTIAN ANTONIO FLORES SIGUENZA
CC: 0603004524

Cristian Antonio Flores Siguenza
Mario Estuardo Vásquez Flores



CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

MARIO ESTUARDO VÁSQUEZ FLORES, autor de la tesis "RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 31 de agosto de 2017



MARIO ESTUARDO VÁSQUEZ FLORES
CC: 0102263696

Cristian Antonio Flores Siguenza
Mario Estuardo Vásquez Flores



AGRADECIMIENTO

Agradecemos a todas las personas que colaboraron en el desarrollo de esta investigación, así como a los Ingenieros Rolando Armas y Alfredo Vásquez por sus valiosos aportes, y en especial, al Dr. Jaime Bojorque por su invaluable participación como director.



DEDICATORIA

Para mi esposa e hijas, quienes son mi razón de ser.

Cristian

DEDICATORIA

A mi esposa María Isabel, mis hijos Natalia Izel y Mario Esteban, quienes son el motivo de todos los sacrificios realizados para culminar este trabajo, a mis padres que siempre me han dado ánimo para seguir adelante.

Mario



1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En el Ecuador, la capa de rodadura más utilizada en las vías es la conformada por mezclas asfálticas en caliente, tanto a nivel urbano como provincial y estatal. El mantenimiento vial, su rehabilitación o reconstrucción demanda gastos elevados, por lo que el control de calidad de los procesos constructivos debe garantizar la mayor durabilidad posible de las inversiones realizadas, sean éstas públicas o privadas.

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), es la cartera de estado encargada del transporte y de la infraestructura vial del Ecuador, estando a su cargo el desarrollo, conservación y mejoramiento de aproximadamente 9,800 km de red vial, según el reporte del estado de la red vial estatal nacional de octubre 2016, elaborado por la Subsecretaría de Infraestructura y la Dirección de Conservación del Transporte, del MTO.

En el país, el método más utilizado para el control de calidad de mezclas asfálticas en caliente es mediante los ensayos Marshall, conforme lo establecen las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP – 001 – F 2002 del Ministerio de Transporte y Obras Públicas [1].

El método Marshall contempla la elaboración de briquetas según la norma ASTM D 1559 durante la colocación de la carpeta asfáltica, las mismas que al ser probadas deben cumplir con los parámetros establecidos en las especificaciones MOP – 001 – F 2002 (cantidad de asfalto, densidad, vacíos, estabilidad y flujo) [1]. Luego de la colocación de la carpeta asfáltica, las mismas especificaciones determinan la necesidad de extraer núcleos, con la finalidad de confirmar el espesor, densidad y composición de la mezcla asfáltica.

Existen ocasiones donde, por motivos operativos o administrativos, no es factible confeccionar las briquetas para el control de calidad de la mezcla asfáltica durante su colocación en obra, o simplemente los resultados obtenidos no son confiables a causa de una mala elaboración de los ensayos. En estas situaciones no es posible verificar la calidad de la mezcla asfáltica mediante la elaboración de ensayos Marshall en núcleos extraídos, pues esto no es contemplado en las especificaciones antes mencionadas.

En los casos descritos en el párrafo anterior, es indispensable determinar la calidad de la mezcla, previo a su aceptación, mediante métodos de control rutinario que no demanden inversiones económicas elevadas. Conforme a la norma ASTM D6927-15 [2], que define el método del ensayo estándar para el cálculo de la estabilidad y flujo Marshall de mezclas asfálticas, es factible obtener estas propiedades Marshall en núcleos extraídos de la carpeta asfáltica colocada, sin embargo dichos valores son informativos o de evaluación, pero no podrían ser utilizados con fines de cumplimiento de especificaciones, pues éstos son establecidos para las pruebas en briquetas confeccionadas.

En base a lo anterior, se plantea el presente trabajo de investigación para establecer una relación de las propiedades Marshall (estabilidad y flujo) de una mezcla asfáltica en caliente durante su colocación y posterior a la misma, que permita obtener parámetros referenciales para determinar la calidad de la mezcla mediante la extracción de núcleos y por ende su valoración.

El presente proyecto de tesis se desarrolló utilizando la mezcla asfáltica en caliente colocada en la carretera Gualaceo – Plan de Milagro, cuya construcción está a cargo de la Dirección Provincial del Azuay del Ministerio de Transporte y Obras Públicas. La capa de rodadura de pavimento flexible está entre las abscisas 0+000 a 16+000 y 30+000 a 60+000, cuya estructura está constituida por una capa de mejoramiento de 35 cm de espesor, una de subbase granular de 25 cm, una de base granular de 20 cm y una carpeta asfáltica de 4 pulgadas, siendo esta última construida en dos capas de 2 pulgadas cada una.

En la Figura 1-1 se presenta la ubicación de la carretera Gualaceo – Plan de Milagro en donde se realizó la investigación, la cual tiene una longitud aproximada de 60 km, conectando las provincias de Azuay y Morona Santiago. La vía se desarrolla por zonas montañosas y escarpadas, cuyas alturas van de 2250 msnm (metros sobre el nivel del mar) en Gualaceo, 3450 msnm en su punto más alto en la abscisa 24+000 hasta los 1720 msnm en Plan de Milagro.

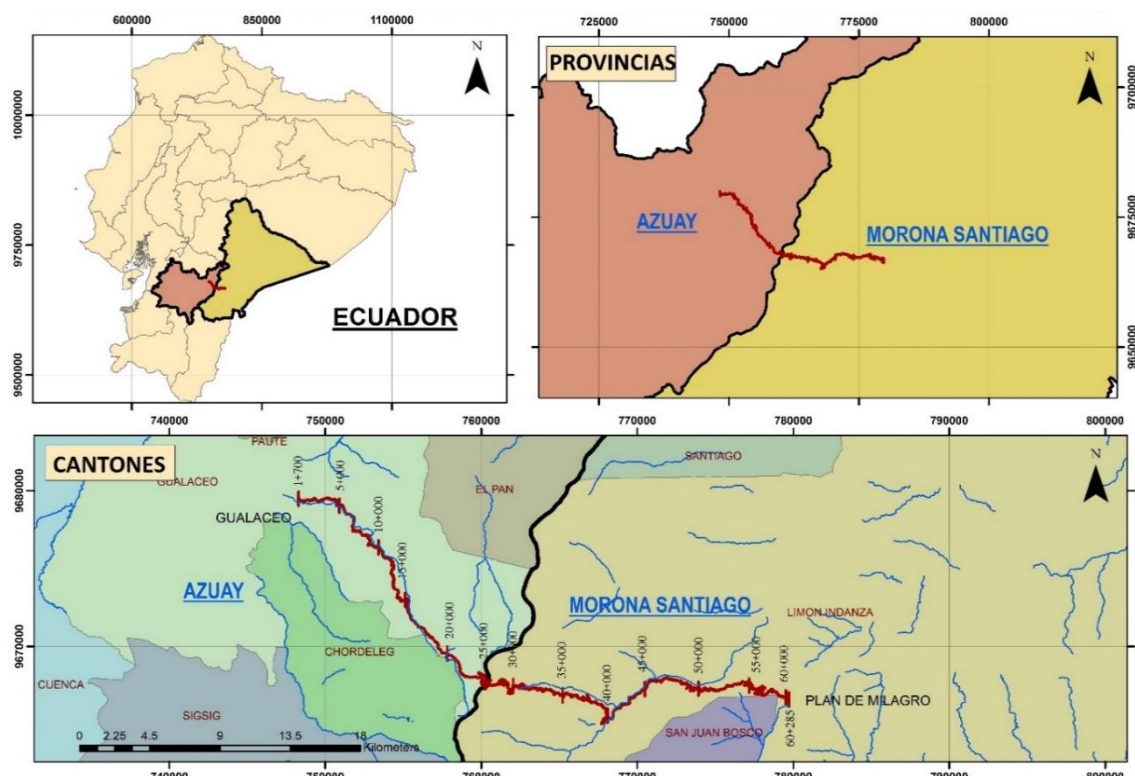


Figura 0-1: Carretera Gualaceo – Plan de Milagro.

El proyecto de tesis se desarrolló bajo principios teóricos, normativos y ensayos de laboratorio, que fueron ejecutados durante la colocación de la mezcla asfáltica en la plataforma vial y su posterior extracción mediante núcleos, de forma que se realizaron los ensayos Marshall respectivos, tanto en las briquetas confeccionadas como en los núcleos extraídos a los 30 y 60 días posteriores a la colocación de la capa de rodadura.

1.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

El control de calidad de la mezcla asfáltica durante el proceso constructivo es un punto clave para conseguir los mejores resultados, tanto en capacidad estructural como en

durabilidad de las capas de rodadura [3]; sin embargo, es común que se presenten situaciones que provocan la falta de resultados que conlleven a la aceptación de los trabajos, como son: fallas operativas del fiscalizador que coordine la confección de las briquetas durante la construcción; errores humanos en la confección de briquetas por parte del laboratorista; errores humanos en el manipuleo, transporte y ensayos que se realizan a las briquetas; desfases en los tiempos de inicio de las labores de construcción y las de fiscalización. Conforme a información obtenida en el portal del Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP - www.compraspublicas.gob.ec) durante los años 2013 a 2017, en promedio los contratos de fiscalización de obra (de una muestra de 10 contratos de obras viales a cargo del MTOP) tienen una fecha de inicio de 4.50 meses después de empezar las labores de construcción, lo que implica que durante ese periodo de tiempo no se desarrollen adecuadamente las labores de control sobre la calidad de los materiales y su correcta puesta en obra.

Cuando se presenta uno o más de los problemas descritos en el párrafo anterior o en general cuando existen dudas en la calidad de la mezcla asfáltica se pueden realizar ensayos que resultan ser mucho más costosos y complicados, en relación a los ensayos Marshall, como son ensayos deflectométricos (para determinar la capacidad estructural del paquete que conforma la estructura de pavimento) o ensayos reológicos (para determinar el módulo de elasticidad de la mezcla asfáltica), métodos que por lo general son empleados para hacer una evaluación íntegra del proyecto vial, más no para el control rutinario del mismo.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En base a lo indicado, se considera que el determinar una relación entre las propiedades Marshall de estabilidad y flujo entre las briquetas confeccionadas durante la construcción y las extracciones de núcleos posteriores, permitirá obtener un parámetro de control de calidad para la aceptación de la mezcla asfáltica en base a estos últimos, sin necesidad de recurrir a otros métodos, que demandan una mayor cantidad de tiempo y recursos económicos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Obtener una relación de las propiedades Marshall de estabilidad y flujo, entre las briquetas confeccionadas durante la colocación de una mezcla asfáltica y los núcleos extraídos posteriormente, para determinar criterios de aceptación de dicha mezcla en base a estos últimos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Replicar el diseño de la mezcla asfáltica utilizada en la construcción de la carretera Gualaceo – Plan de Milagro, incluyendo los agregados pétreos y el cemento asfáltico.
- Realizar el control de calidad de la mezcla asfáltica, según las especificaciones técnicas respectivas, con la elaboración y prueba de briquetas durante su colocación (ensayos Marshall).
- Evaluar los núcleos extraídos en la carpeta asfáltica en las mismas abscisas



donde se confeccionaron las briquetas, a los 30 y 60 días posteriores a la colocación de la mezcla, y repetir en ellos las pruebas realizadas para el control de calidad, incluyendo los ensayos Marshall.

- Realizar una comparación crítica y obtener una relación entre las propiedades Marshall de estabilidad y flujo de las briquetas elaboradas durante la colocación de la mezcla asfáltica y de los núcleos extraídos posteriormente.
- Emitir las conclusiones respecto a la calidad de la mezcla asfáltica en base a las propiedades Marshall de los núcleos extraídos.

1.5 METODOLOGÍA

En la presente investigación se empleó la mezcla asfáltica en caliente utilizada para la construcción de la carretera Gualaceo – Plan de Milagro, para lo cual se revisaron los resultados de las propiedades de los agregados pétreos y del ligante asfáltico. El diseño de la mezcla asfáltica y el número de pasadas del rodillo para la correcta compactación se comprobaron en un tramo de prueba, en función de la maquinaria disponible para la construcción. El control de temperatura de la mezcla asfáltica se realizó previo a la confección de briquetas durante su colocación, mientras que el porcentaje de compactación se verificó con el uso de un densímetro nuclear y con la densidad de los núcleos extraídos. El control de calidad de la mezcla asfáltica se realizó en cumplimiento a lo establecido en las especificaciones MOP-001-F 2002 del MTOP [1].

Los materiales pétreos utilizados para la mezcla asfáltica son del sector del cerro Tamuga, así como de la cantera Cochancay. El asfalto utilizado es el Tipo AC-20 producido en la refinería de Esmeraldas.

Se obtuvo un total de 81 probetas conformadas por: 27 briquetas (9 juegos de 3 briquetas cada uno, tomados en una abscisa específica) confeccionadas durante la construcción de la carpeta asfáltica; 27 núcleos extraídos en las mismas abscisas luego de 30 días de colocada la mezcla asfáltica; y 27 núcleos extraídos luego de 60 días en los mismos sitios. La finalidad es encontrar una relación de las propiedades Marshall entre las briquetas elaboradas durante la construcción y los núcleos.

En cada una de las 81 muestras (27 en cada periodo de tiempo) se realizaron los ensayos de laboratorio de interés como son el porcentaje de asfalto, densidad bulk, porcentaje de vacíos y ensayos Marshall. Con los resultados obtenidos se determinó la relación entre las propiedades de estabilidad y flujo del ensayo Marshall, así como todas las restantes para los diferentes periodos de tiempo donde se obtuvieron las muestras.

Es importante mencionar que, los resultados son particulares para las características de los agregados y del cemento asfáltico utilizados, sin embargo, podrían ser generalizados con sus respectivos cuidados a otras zonas.



2. MARCO TEÓRICO

Dentro de este capítulo se realizan definiciones relevantes sobre mezclas asfálticas en caliente y las propiedades que deben tener para conseguir una capa de rodadura que cumpla con las condiciones estructurales del diseño del pavimento, así como de confort y seguridad para los usuarios. Estas definiciones son referenciadas de los libros *“Firmes y pavimentos: de carreteras y otras infraestructuras”* [4] y *“Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente”* [5]; así como de los artículos *“Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas”* [3] y *“Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas”* [6].

Además, se harán breves explicaciones sobre los métodos de diseño de mezclas asfálticas y se desarrollará a detalle la metodología Marshall de diseño y control de calidad, abordando los procedimientos para la ejecución de los respectivos ensayos de laboratorio constantes en la norma ASTM D6927-15 (Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures) [2].

Por otra parte, se hará una recopilación de las especificaciones técnicas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas que constan en el documento de especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes, MOP-001-F 2002 [1], en cuanto a los parámetros que deben cumplir los diferentes componentes de la mezcla asfáltica y los procedimientos de control de calidad en la producción y colocación de la misma.

2.1 ESTADO DEL ARTE

La ISO (International Organization for Standardization) en su norma ISO-8402 define la calidad como el “conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confieren su aptitud para satisfacer unas necesidades expresadas o implícitas”.

La ASQ (American Standard for Quality) define a la calidad como el “conjunto de características de un producto, proceso o servicio que le confieren su aptitud para satisfacer las necesidades del usuario”, y al control de calidad como el “conjunto de técnicas y actividades de carácter operativo, utilizadas para verificar los requerimientos relativos a la calidad del producto o servicio”.

Indudablemente las definiciones citadas anteriormente son enfocadas hacia la producción industrial, sin embargo reflejan en esencia lo buscado a través de la construcción de una obra cualquiera; en el presente caso el producto es la mezcla asfáltica en caliente que busca satisfacer la necesidad de brindar a los usuarios de una vía las características de confort en su movilización y una durabilidad adecuada, para ello debe controlarse la calidad en el diseño, fabricación y colocación de la mezcla asfáltica en caliente a través de los procesos normados para el efecto acorde la legislación de cada país.

En lo referente al diseño y control de calidad de mezclas asfálticas en caliente, en nuestro país el método normado es el Marshall, que será detallado en este capítulo en base al documento de especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP – 001 – F 2002 del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOPE) [1]. La calidad de la fabricación debe ser controlada determinando la calidad de los agregados, del cemento asfáltico y la temperatura de producción. De igual forma, la colocación de la mezcla debe ser controlada a través de los ensayos de peso específico, grado de compactación, temperatura en obra, porcentaje de vacíos, vacíos en el agregado mineral, vacíos rellenos de asfalto, y las propiedades Marshall



de estabilidad y flujo; parámetros que deben estar dentro de rangos de aceptación previamente establecidos.

La normativa revisada establece un rango de aceptación para el flujo dependiendo del volumen de tráfico pesado; por otra parte, para la estabilidad se define un valor mínimo de igual forma dependiente del tipo de tráfico, sin embargo, no se especifica un valor máximo de ésta. El Instituto Mexicano del Transporte [6] indica que mezclas asfálticas con valores altos anormales de estabilidad son frecuentemente menos deseables debido a que pavimentos con este tipo de mezclas tienden a ser menos durables, o pueden fracturarse prematuramente bajo altos volúmenes de tránsito.

En base a las especificaciones del MTOP, las propiedades Marshall que debe cumplir la mezcla asfáltica puesta en obra son obtenidas en laboratorio, ensayando briquetas confeccionadas para el efecto, previo a la colocación de la misma; sin embargo, no se contempla un método alternativo de control de calidad que permita establecer criterios de aceptación en base a ensayos realizados en núcleos extraídos en campo luego de la colocación de la mezcla; de ahí, el planteamiento de esta investigación para establecer parámetros Marshall de control en ensayos realizados en núcleos extraídos.

Existen investigaciones respecto a la variación de las propiedades Marshall con el paso del tiempo en briquetas confeccionadas en laboratorio, como se registra en el artículo titulado “Influencia de las condiciones ambientales de la ciudad de Bogotá sobre la estabilidad y flujo Marshall de una mezcla densa en caliente” [7] donde se confeccionaron briquetas con dos tipos de ligantes asfálticos comúnmente utilizados en Colombia denominados CA 60-70 y CA 80-100 según su penetración, con agregados que cumplen las especificaciones del INVIAS (Instituto Nacional de Vías, Colombia), y con contenidos de asfalto entre el 4.5 y 6.5 %. Estas briquetas fueron colocadas en el techo del edificio de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia para que recibieran de manera directa la influencia del medio ambiente, para luego probarlas aproximadamente cada 3 meses durante un año mediante el ensayo Marshall.

La investigación determina que para ambos cementos asfálticos se produce un incremento tanto en estabilidad como en flujo, pero éste depende justamente del tipo de ligante utilizado; en cuanto a estabilidad para el CA 60-70 se reporta un incremento del 61.5% en 11 meses con relación a la primera prueba, mientras que para el CA 80-100 se tiene un incremento de 19.8% en 12 meses. Respecto al flujo, se observa que para el ligante CA 60-70 se produce un incremento aproximadamente del 16% a los 11 meses mientras que para el CA 80-100 se tiene un incremento de aproximadamente del 14%.

El cemento asfáltico proveniente de la refinería de Esmeraldas se asemeja al CA 60-70 utilizado en Colombia, y la conclusión más relevante es que se produce un incremento en estabilidad y flujo durante el primer año de exposición al medio ambiente producto del envejecimiento. Se debe tener presente que los ensayos realizados se efectuaron en briquetas hechas en laboratorio, pudiendo existir variaciones significativas con las briquetas confeccionadas en obra durante la producción de la mezcla asfáltica, producto de la diferencia en la eficiencia del mezclado y el envejecimiento entre las mezclas de planta y las mezclas de laboratorio [2].

La norma ASTM D6927-15 [2] indica que los valores de estabilidad y flujo Marshall obtenidos en ensayos realizados en núcleos extraídos de la carpeta asfáltica colocada,



son informativos o de evaluación, pero no podrían ser utilizados con fines de cumplimiento de especificaciones, las cuales están dadas para los ensayos realizados en briquetas confeccionadas durante la colocación de la mezcla.

La actual investigación pretende establecer la relación de las propiedades Marshall de estabilidad y flujo, entre las briquetas confeccionadas durante la puesta en obra de la mezcla asfáltica y los núcleos extraídos luego de su colocación, con la finalidad de establecer criterios de aceptación en base a estos últimos.

2.2 MEZCLAS ASFÁLTICAS

Una mezcla asfáltica se define como una combinación de cemento asfáltico (ligante) y agregados pétreos en proporciones establecidas mediante un diseño según las características de cada elemento. Los componentes que conforman la mezcla asfáltica deben tener la calidad suficiente para que el pavimento funcione de manera adecuada, pues cada uno de ellos afecta directamente a todo el conjunto, de ahí la importancia del control de calidad de cada elemento [3].

Las mezclas asfálticas son utilizadas para la construcción de capas de rodadura en vías y aeropuertos, debiendo proporcionar condiciones adecuadas para la circulación mediante una superficie segura y cómoda para los usuarios, soportando directamente las acciones de las cargas vehiculares, transmitiéndolas hacia las capas granulares que conforman la estructura de pavimento y hasta la subrasante. Los costos de este tipo de capa de rodadura resultan más económicos en comparación con una de hormigón hidráulico.

Los materiales que componen una mezcla asfáltica son el cemento asfáltico y los áridos (agregados), cuyas características principales se detallan en los siguientes numerales.

2.2.1 Cemento asfáltico

El cemento asfáltico es obtenido del proceso de destilación del petróleo para eliminar solventes volátiles y parte de sus aceites. Dentro sus características se tienen que su viscosidad varía en función de la temperatura, las resinas que contiene le dan una capacidad de adherencia con los agregados pétreos, es un excelente ligante y permanece en estado semisólido a la temperatura ambiente.

Para conocer las propiedades del cemento asfáltico se debe tener presente los siguientes conceptos:

a. Viscosidad

Se define como la resistencia de las partículas a separarse, debido a los rozamientos internos que ocurren en el seno del fluido. En el caso de los betunes varía con la temperatura, lo que da una idea de su susceptibilidad térmica.

b. Susceptibilidad térmica

Indica la propensión que presenta el betún a variar ciertas propiedades reológicas – especialmente la viscosidad con la temperatura.



c. Penetración

Permite determinar la dureza o consistencia de un material asfáltico. Consiste en la penetración de una aguja normalizada de 100 g que se introduce en un recipiente con cemento asfáltico a una temperatura de referencia de 25°C por un tiempo de 5 segundos, midiéndose después la penetración de la aguja en unidades de 0.1 mm según la norma ASTM D 5.

d. Punto de ablandamiento

Es la temperatura a la cual el cemento asfáltico se vuelve lo suficientemente blando como para comenzar a fluir. Se suele suponer, en términos amplios, que la consistencia en este punto es equivalente a la que presenta cuando su penetración es 800 (0.1 mm).

e. Índice de penetración

Se calcula a través de una expresión matemática y sirve para estimar la susceptibilidad térmica de los cementos asfálticos.

f. Punto de inflamación

Es la temperatura en grados centígrados a la que, durante el calentamiento del betún asfáltico, se encienden los vapores de éste al ponerlos en contacto con una llama. La finalidad de la prueba es identificar la temperatura máxima a la cual el producto puede ser manejado sin peligro de que se inflame.

g. Punto de ignición

Es la temperatura en grados centígrados a la cual la presencia de una llama produce el incendio del asfalto por lo menos durante 5 segundos. Dicho punto es conocido también como punto de llama.

h. Pruebas de envejecimiento

El envejecimiento es un fenómeno de degradación y transformación química de los componentes del cemento asfáltico producido por la acción oxidante del aire en presencia de humedad y radiaciones solares. Esto provoca que el betún pierda sus propiedades reológicas y adhesivas. Las pruebas de envejecimiento en horno de película delgada reproducen el efecto del aire y del calor sobre el ligante asfáltico, simulando el envejecimiento que éste sufre a corto plazo durante los procesos de mezclado y colocación de las mezclas de asfálticas.

2.2.2 Agregados

Son materiales pétreos de origen mineral que aportan resistencia a la mezcla asfáltica. Entre los agregados típicos se tienen la arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca. Constituyen entre el 90 y 95 por ciento en peso de una mezcla asfáltica [5]. El agregado influye directamente en el comportamiento del pavimento ya que proporciona la mayoría de las características de la capacidad portante, por lo que debe cumplir con las propiedades descritas en los literales siguientes.



a. Graduación y tamaño máximo de la partícula

Las partículas de los agregados deben estar dentro de un rango de tamaños que se presentan en proporciones. La distribución de varios tamaños se conoce como graduación del agregado. Es necesario determinar el tamaño máximo de las partículas puesto que es uno de los parámetros que se controlan en las especificaciones.

b. Limpieza

Se relaciona con la presencia de materiales indeseables tales como partículas de naturaleza orgánica, polvo o arcilla esquistosa, partículas blandas, etc. Según la normativa los agregados finos deben tener reducida su plasticidad e incluso que no sean plásticos en la mayoría de casos. Las fracciones gruesas deben estar exentas de polvo (el porcentaje máximo viene limitado en las especificaciones). Se la determina mediante inspección visual y un tamizado por lavado.

c. Dureza

Los agregados deben resistir la abrasión y la degradación durante las diferentes etapas de la vida de servicio del pavimento. Los que se encuentran cerca de la superficie deben tener una dureza superior que los que se usan en capas inferiores, debido a que las cargas provocadas por el paso vehicular son mayores en la superficie.

d. Forma de la partícula

La forma de la partícula incide en la trabajabilidad de la mezcla asfáltica y en la cantidad de fuerza a ocupar en la compactación de la mezcla a fin de obtener la densidad requerida. Influye en la resistencia del pavimento. Generalmente la mejor forma corresponde a las partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, que se producen por trituración.

e. Textura de la superficie

Determina la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla, así como también la resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Una superficie áspera aumenta la resistencia del pavimento ya que evita que las partículas se muevan con respecto a otras. El asfalto se adhiere más fácilmente a las superficies rugosas que a las lisas.

f. Capacidad de absorción

Es la capacidad que tiene el agregado de absorber agua o en este caso de absorber el asfalto. Si tiene una gran capacidad de absorción, el agregado seguirá absorbiendo asfalto después del mezclado inicial, haciendo que se reduzca la cantidad de asfalto en su superficie para ligar con las demás partículas del agregado. Por lo que se recomienda agregados poco porosos, a menos que posean otras características deseadas.

g. Afinidad con el asfalto

Es la tendencia que posee el agregado de aceptar y retener una capa de asfalto.

2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Atendiendo a los diferentes criterios utilizados, en la Tabla 2-1 se muestra la clasificación de las mezclas asfálticas.

Criterio	Clasificación mezcla	Observación
Fracción de árido empleado	Masilla asfáltica	Polvo mineral más ligante
	Mortero asfáltico	Árido fino más masilla asfáltica
	Hormigón asfáltico	Árido grueso más mortero asfáltico
	Macadam asfáltico	Árido grueso más ligante
Temperatura de puesta en obra	En frío	No se calientan previamente los áridos y la mezcla es colocada y compactada a temperatura ambiente, corresponde fundamentalmente a emulsiones
	En caliente	Se calientan los áridos y el ligante, lo que favorece a la adhesión, la mezcla es colocada a temperatura muy superior al ambiente, tipo más utilizado en el Ecuador
	Templadas y semicalientes	Se fabrican a temperatura intermedia entre frío y caliente
Porcentaje de vacíos en la mezcla	Cerradas o densas	Porcentaje de vacíos inferior al 6, muy empleadas en capas de rodadura por su alta impermeabilidad
	Semicerradas o semidensas	Porcentaje de vacíos entre el 6-10%, utilizadas en capas intermedias y de base, no en rodadura
	Abiertas	Porcentaje de vacíos supera el 12%, se conforman con árido grueso y ligante
	Drenantes o porosas	Muy alto porcentaje de vacíos superior al 20%
Granulometría de los áridos	Continua	Se cuenta con partículas finas que rellenan los vacíos que copan las oquedades de las partículas gruesas
	Discontinua	Faltan fracciones de áridos en determinados tamaños
Tamaño máximo del árido	Gruesa	Tamaño máximo de árido comprendido entre 8 y 32 mm
	Fina	Cuentan sólo con árido fino incluyendo el polvo mineral, constituyen las lechadas
Estructura del árido	Con esqueleto mineral	Que resisten por rozamiento interno y cohesión
	Sin esqueleto mineral	Se trata de masillas asfálticas que contienen elevadas proporciones de ligante y de polvo mineral

Tabla 0-1: Clasificación de mezclas asfálticas [4].

Para el desarrollo de la investigación se utilizó la mezcla asfáltica de la vía Gualaceo – Plan de Milagro, que conforme a la Tabla 2-1 se clasifica como: hormigón asfáltico, mezclado en caliente, porcentaje de vacíos que da una característica cerrada o densa, granulometría continua de tamaño grueso y por ende con esqueleto mineral. Este tipo de mezcla asfáltica es la de mayor uso a nivel nacional para la construcción de capas de rodadura de carreteras y aeropuertos.

2.4 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

Se define como mezcla asfáltica en caliente a la combinación de un ligante hidrocarbonado y agregados incluyendo el polvo mineral. El asfalto y el agregado son mezclados en proporciones exactas conforme a un diseño previamente establecido.



Su producción se realiza a temperaturas elevadas alrededor de 150°C, según la viscosidad del cemento asfáltico. Los agregados son calentados por separado para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto. De igual forma la colocación en obra se realiza a temperaturas altas superiores al ambiente (mayor a 100°C), caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y compactarse adecuadamente [5].

2.4.1 Propiedades de una mezcla asfáltica en caliente

Las mezclas asfálticas en caliente son diseñadas, producidas y puestas en obra de tal manera que se logra obtener las propiedades previstas inicialmente. Las características fundamentales de una mezcla asfáltica que contribuirán a un adecuado desempeño del pavimento se definen brevemente en los siguiente literales, así como su evaluación y su aporte al rendimiento del pavimento, según [5].

a. Estabilidad

Es la capacidad de resistir desplazamientos y deformaciones bajo cargas de tránsito, si un pavimento es estable será capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, por el contrario, un pavimento inestable presentará canales y ondulaciones.

Las especificaciones de la estabilidad dependen del tránsito para el cual se diseña, por lo que es necesario tener un análisis completo del mismo. El valor de la estabilidad debe ser lo suficientemente alto para el tráfico esperado, sin embargo, este no debe ser demasiado alto debido a que produce pavimentos demasiado rígidos que disminuyen su durabilidad.

La estabilidad está relacionada con la fricción y cohesión interna de la mezcla. La fricción interna está relacionada con la forma y textura superficial de los agregados. La cohesión es la capacidad de ligar que tiene el asfalto.

b. Durabilidad

Es la característica que tiene el pavimento de resistir factores como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto, separación de las películas del asfalto que por lo general se producen por efectos del clima, tránsito y la combinación de ambos. Se puede aumentar la durabilidad mediante el uso de la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación y con un diseño y compactación que ayuden a tener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto incrementa la durabilidad debido a que las películas gruesas de asfalto no se envejecen tan pronto como las películas delgadas haciendo que mantenga mayor tiempo sus características. Además, sella gran porcentaje de vacíos dejando lo necesario para la expansión.

Una graduación densa de agregados proporciona un contacto más cercano entre las partículas, permitiendo que aumente la impermeabilidad de la mezcla. Resiste la desintegración bajo las cargas de servicio y la acción del agua.



c. Impermeabilidad

Es la propiedad de impedir el paso tanto del aire como del agua hacia su interior o a través de la capa de rodadura. Es una característica que está relacionada con el contenido de vacíos, por lo que es necesario conocer la naturaleza del mismo.

El grado de impermeabilidad se determina por el tamaño de los vacíos. Todas las mezclas tienen un cierto grado de impermeabilidad por lo que se debe cumplir con el rango que se indique en las especificaciones. Mediante un buen diseño y compactación se puede reducir la intrusión de aire y agua en la mezcla obteniendo de esta manera la máxima impermeabilidad posible.

d. Trabajabilidad

La trabajabilidad de una mezcla viene definida por la facilidad que presenta para ser colocada y compactada. Esta característica se la puede ir modificando en función de los requerimientos de la obra y maquinaria disponible, para lo cual se variarán los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado y la granulometría. Esta propiedad se vuelve importante en lugares donde se requiere colocar y rastrillar a mano como por ejemplo alrededor de las tapas de alcantarillas, curvas pronunciadas u otros obstáculos.

Las mezclas fácilmente trabajables se conocen como mezclas tiernas que son inestables para ser colocadas y compactadas. Generalmente son producto de falta de relleno mineral, gran cantidad de arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas y alta humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no incida directamente en la trabajabilidad, una temperatura demasiado baja dará una mezcla poco trabajable, mientras que una temperatura elevada puede hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto pueden influir en la trabajabilidad.

e. Flexibilidad

Es la aptitud de soportar las deformaciones sin presentar fisuración, va relacionada directamente con la fatiga. Una mezcla es más flexible cuando su granulometría es abierta con gran cantidad de asfalto que una mezcla densamente graduada y bajo contenido de asfalto.

f. Resistencia a la fatiga

Es la resistencia a la flexión repetida provocada por la acción de las cargas de servicio, se ve influenciada por el contenido de vacíos y la viscosidad del asfalto. Mientras aumente el porcentaje de vacíos la resistencia a la fatiga disminuye. De igual manera esta resistencia disminuye cuando el asfalto se ha envejecido y endurecido. Los pavimentos de mayores espesores tienen más resistencia a la fatiga que los pavimentos delgados.

g. Resistencia al deslizamiento

Es la capacidad que tiene la superficie del pavimento de minimizar el deslizamiento de los neumáticos de los vehículos especialmente cuando la superficie está mojada. Representa la interacción entre el neumático y un pavimento.



La resistencia al deslizamiento aumenta en una superficie áspera y rugosa, y disminuye en una superficie lisa. Una mejor resistencia se obtiene con un agregado áspero, en una mezcla de graduación abierta y con tamaño de 9.5 mm a 12.5 mm. Los agregados deben resistir el pulimiento bajo el tránsito.

h. Resistencia al fracturamiento por baja temperatura

Cualidad de la mezcla asfáltica para no agrietarse en condiciones de bajas temperaturas.

2.5 MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas tienen diferentes métodos para establecer un diseño óptimo en laboratorio. El método de diseño confiable será aquel que establezca una adecuada interacción de todos los factores señalados, así como de su comportamiento estructural. Los métodos mayormente utilizados son:

- Método Hveem, desarrollado por Francis N. Hveem, 1940, Estados Unidos.
- Método Marshall, desarrollado por Bruce Marshall, 1943, Estados Unidos.
- Método Superpave (Superior Performance Asphalt Pavements), desarrollado por el programa Strategic Highway Research Program, 1987 a 1993, Estados Unidos.

En la presente investigación se aplica el método Marshall, mismo que, es el de mayor uso en el Ecuador y el único considerado en las especificaciones y normativas del MTOP [1].

2.6 MÉTODO MARSHALL

En nuestro país las capas de rodadura de las vías pavimentadas se realizan mayoritariamente con mezclas asfálticas en caliente, siendo su principal método de diseño el del ensayo Marshall, mismo que fue desarrollado por el Ingeniero de Asfaltos Bruce Marshall en 1943, quien laboraba en el Departamento de Autopistas del Estado de Mississippi, Estados Unidos [5]. En dicho año el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos evaluó y comparó varios métodos para el diseño y control de mezclas asfálticas, adoptando este método debido a que utilizaba equipo portátil, luego por medio de pruebas de tránsito y estudios de correlación se mejoraron y agregaron detalles al procedimiento del ensayo Marshall y se estableció como un criterio de diseño de mezclas.

En este numeral se realizará una breve descripción del diseño Marshall de mezclas, tomando como referencia la norma ASTM D1559.

2.6.1 Preparación para efectuar los procedimientos Marshall

Para el diseño se necesita determinar las propiedades (estabilidad, flexibilidad, durabilidad, trabajabilidad, impermeabilidad, resistencia a la fatiga y al deslizamiento) de la mezcla asfáltica que se requiere obtener, para lo cual es indispensable conocer las características de los agregados y asfalto que se van a utilizar.



Para realizar el ensayo Marshall se deben seleccionar muestras de asfalto y agregados que tengan características idénticas a las que se van a colocar en sitio, debido a que en el laboratorio se determinarán parámetros que darán las cantidades y condiciones que se utilizarán en el producto final.

2.6.1.1 Preparación del agregado

a. Secado del agregado

Para evitar que la humedad afecte el resultado de los ensayos se requiere que el agregado esté seco, para ello se coloca una muestra de agregado en una bandeja y se calienta en el horno a una temperatura de 110°C (230°F), luego de algún tiempo se toma el peso de la muestra caliente. Posteriormente se vuelve a calentar y se registra nuevamente el peso. Se termina este procedimiento cuando luego de calentamientos consecutivos el peso es constante lo que indica que la mayor cantidad de humedad se ha evaporado.

b. Análisis granulométrico por vía húmeda

Este procedimiento sirve para determinar el porcentaje de las partículas de distinto tamaño en las muestras del agregado, debido a que es un parámetro que deben cumplir con las especificaciones de la mezcla. Para realizar la granulometría por vía húmeda se realiza el siguiente procedimiento:

- Secado y pesado de la muestra.
- Lavado de la muestra a través de tamiz de 0.075 mm (N° 200) para remover polvo mineral.
- Secado de las muestras.
- Pesado de la muestra seca y determinación de la cantidad de polvo mineral.

c. Determinación del peso específico

El peso específico se determina al comparar el peso del volumen del agregado con el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura. Al determinar el peso específico de la muestra seca se tiene una referencia para calcular el porcentaje del agregado, asfalto y vacíos que se utilizará en el diseño.

2.6.1.2 Preparación de briquetas para el ensayo

Se preparan las probetas con diferentes cantidades de asfalto. Existe un margen de contenido del asfalto a usarse en las briquetas basado en experiencia previa, la proporción de agregado en la mezcla está formulada por los resultados del análisis granulométrico. Este margen provee al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final.

Para preparar las muestras se siguen los pasos indicados a continuación:

- El asfalto y el agregado se calientan hasta que todo el agregado este revestido de asfalto.
- La mezcla calentada se coloca en los moldes Marshall pre-calentados para posteriormente ser compactado con el martillo Marshall, que también estará caliente para que no enfríe la superficie de la mezcla.



- El número de golpes depende del volumen de tránsito para la cual es diseñada, puede ser 30, 50 ó 75 y se aplica en ambas caras. Luego de ser compactadas las muestras se las enfría y extrae de los moldes.

2.6.2 Procedimiento ensayo Marshall

Los procedimientos del ensayo Marshall son: determinación del peso específico total, medición de la estabilidad y flujo Marshall, análisis de la densidad, contenido de vacíos y contenido de asfalto.

Para la determinación del contenido de vacíos con aire en la probeta (V_a), vacíos en el agregado mineral (VAM) y vacíos rellenos de asfalto (VFA) es fundamental realizar las definiciones constantes en el siguiente numeral, según [3].

2.6.2.1 Relaciones gravimétrica y volumétrica

a. Gravedad específica total del agregado (G_{sb})

Relación entre la masa en el aire de un volumen unitario de agregado (sólo el volumen de los poros permeables al agua) y la masa de igual volumen de agua, ambos a la misma temperatura. Se determina la gravedad específica para la combinación de los agregados que forman parte de la mezcla asfáltica.

b. Gravedad específica aparente del agregado (G_{sa})

Relación entre la masa en el aire de un volumen unitario de agregado (sólo el volumen del sólido del agregado) y la masa de igual volumen de agua, a la misma temperatura.

c. Gravedad específica efectiva del agregado (G_{se})

Relación entre la masa en el aire de un volumen unitario de agregado (sólo el volumen de los poros permeables al agua no llenos con asfalto) y la masa de igual volumen de agua, a la misma temperatura.

d. Gravedad específica del asfalto (G_b)

Relación entre la masa en el aire de un volumen dado de asfalto y la masa de igual volumen de agua, a la misma temperatura.

e. Gravedad específica total de la mezcla asfáltica compactada (G_{mb}). Densidad Bulk

Relación entre la masa en el aire de un volumen dado de mezcla asfáltica compactada y la masa de igual volumen de agua, a la misma temperatura.

f. Gravedad específica máxima teórica de la mezcla (G_{mm}). Densidad RICE

Relación entre la masa de un volumen dado de mezcla asfáltica sin vacíos de aire y la masa de igual volumen de agua, a la misma temperatura. Este ensayo se realiza en base a la norma ASTM D 2041 y su resultado está dado según la Ecuación 2-1.

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad \text{Ecuación 2-1}$$



donde:

G_{mm} = densidad RICE.

P_{mm} = porcentaje de la masa del total de la mezcla suelta = 100.

P_s = contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla.

P_b = contenido de asfalto, porcentaje del total de la masa de la mezcla.

G_{se} = gravedad específica efectiva del agregado.

G_b = gravedad específica del asfalto.

g. Vacíos con aire

Los vacíos con aire en las mezclas asfálticas son pequeños volúmenes de aire presentes entre los agregados revestidos dentro de la mezcla compactada. Es necesario que las mezclas graduadas contengan un porcentaje de vacíos, para permitir cierta compactación adicional debido a las cargas del tráfico y así el asfalto pueda fluir. En caso de mezclas asfálticas cerradas o densas el porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) está entre 2 y 6 por ciento [8] y viene dado por la Ecuación 2-2.

$$V_a = 100 \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

donde:

V_a = vacíos con aire en la mezcla compactada (porcentaje del volumen total).

G_{mm} = densidad RICE.

G_{mb} = densidad Bulk.

h. Vacíos en el agregado mineral (VAM)

Los vacíos en el agregado mineral, VAM, son los espacios intergranulares de vacíos que se encuentran entre las partículas del agregado de la probeta compactada, incluyen los vacíos con aire y el contenido efectivo del asfalto. Se expresa en porcentaje del volumen total de la muestra. Se lo calcula restando el volumen del agregado del volumen total de la mezcla compactada según la Ecuación 2-3.

$$VAM = 100 - \frac{G_{mb} P_s}{G_{sb}} \quad \text{Ecuación 2-3}$$

donde:

VAM = vacíos en el agregado mineral (porcentaje del volumen total).

G_{mb} = densidad Bulk.

G_{sb} = gravedad específica total del agregado.

P_s = contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla.

i. Vacíos rellenos de asfalto (VFA)

Los vacíos rellenos de asfalto, VFA, son el porcentaje de los vacíos intergranulares existentes entre las partículas de agregados (VAM) que están llenos de asfalto. El VAM hace referencia al asfalto y aire, por lo que el VFA se obtiene de restar los vacíos con aire de VAM y dividiendo por el VAM como se indica en la Ecuación 2-4. El resultado se expresa en porcentaje y posee especificaciones mínimas y máximas.



$$VFA = 100 \frac{VAM - V_a}{VAM} \quad \text{Ecuación 2-4}$$

donde:

VFA = vacíos rellenos de asfalto (porcentaje de VAM).

VAM = vacíos en el agregado mineral (porcentaje del volumen total).

V_a = vacíos de aire en la mezcla compactada (porcentaje del volumen total).

j. Porcentaje de contenido de asfalto

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada en el laboratorio y estar en continuo control. Es la relación entre la masa de asfalto y la masa total de la mezcla compactada [3]. Se establece tomando en cuenta las propiedades de las mezclas y depende en gran parte del agregado (granulometría y capacidad de absorción), mientras mayor sea la cantidad de agregados finos en la mezcla, mayor será el área superficial total y mayor será la cantidad de asfalto requerida.

2.6.2.2 Ensayo de estabilidad y fluencia

La estabilidad es la capacidad de la mezcla para resistir desplazamientos y deformaciones, depende de la fricción y cohesión interna de los agregados. La estabilidad crecerá a medida que se incrementa el contenido de asfalto, sin sobrepasar cierto límite debido a que el asfalto puede impedir la fricción interna entre partículas dando como resultado valores menores de estabilidad.

Como ya se indicó, la normativa define un valor mínimo para la estabilidad, sin embargo, no se especifica un valor máximo de ésta. Estabilidades bajas producen ahuellamiento, deformaciones u ondulaciones. En este sentido, existe documentación que indica que estabilidades altas, relacionadas con densidades adecuadas (porcentajes de vacíos entre el 2 y 6%), no son un problema sino más bien una ventaja [8], pues solo en caso de tener vacíos muy bajos, la mezcla se vuelve frágil en climas fríos, con resistencias bajas al agrietamiento y desintegración. Por otra parte, el Instituto Mexicano del Transporte [6], de manera general indica que mezclas asfálticas con valores altos anormales de estabilidad son menos deseables debido a tienden a ser menos durables, o pueden fracturarse prematuramente bajo altos volúmenes de tránsito.

La fluencia o flujo es la deformación vertical total del espécimen sometido a la carga máxima. El flujo incrementará cuando se incremente el contenido de asfalto en la mezcla.

La normativa define un rango de aceptación para el flujo, con valores mínimos y máximos en función del tipo de tráfico, pues valores muy bajos están relacionados con deficiencia en el contenido de asfalto, provocando que la mezcla sea frágil o los agregados no estén totalmente recubiertos, afectando al correcto funcionamiento de todo el conjunto. Por otra parte, valores muy altos reflejan un contenido de asfalto elevado, provocando problemas de exudación y deformaciones.



De lo mencionado, el ensayo de la estabilidad permite medir la resistencia a la deformación de la mezcla, mientras que la fluencia mide la deformación que se produce bajo carga. La norma INVIAS E-748-13 del Instituto Nacional de Vías, Colombia [9], busca un equilibrio entre estos dos parámetros, estableciendo un rango entre 300 a 500 para la relación estabilidad/flujo, advirtiendo que valores muy altos implican mezclas asfálticas frágiles, rígidas y poco durables.

Una descripción detallada del ensayo Marshall para la determinación de la estabilidad y flujo se realiza a continuación en el numeral 2.7, conforme lo establece la norma ASTM D6927-15 (Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures) [2].

2.7 ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (ASTM D6927-15)

El método de ensayo mide la resistencia del flujo plástico de una probeta de 4 pulgadas (101.6 mm). Las muestras cilíndricas de mezcla asfáltica son cargadas en dirección perpendicular al eje del cilindro del aparato Marshall. Este método se usa en mezclas de graduación densa preparadas con cemento asfáltico y agregados de tamaño máximo de 1 pulgada (25 mm). Las unidades empleadas en el ensayo son pulgada-libra consideradas como estándares.

Terminología

LMLC (*lab mix lab compacted*) son muestras de mezclas asfálticas que se preparan en laboratorio, donde se compacta la mezcla combinada usando un aparato de compactación del laboratorio (martillo Marshall) y se produce normalmente durante la fase de diseño de la mezcla asfáltica.

PMLC (*plant mix laboratory compacted*), muestras de mezclas asfálticas de laboratorio fabricadas en la planta de producción antes de la compactación, que son inmediatamente compactadas con el martillo Marshall. Son utilizadas para pruebas de control de calidad.

En este trabajo de investigación se utiliza el tipo de muestra PMLC para el control de calidad.

- La estabilidad, fluencia, densidad, vacíos con aire en el total de la mezcla, vacíos en el agregado mineral (VAM) o vacíos rellenos de asfalto (VFA), son usados para el diseño de la mezcla asfáltica en laboratorio. La estabilidad y el flujo pueden ser utilizados para monitorear los procesos de la planta de producción.
- La estabilidad y el flujo son características de las mezclas asfálticas determinadas en las muestras compactadas con una geometría específica. El ensayo se puede realizar con el método A que usa un bastidor de carga con un anillo de carga y un indicador para la deformación (método tradicional) y B que usa una grabadora de carga-deformación (método automático).
- La estabilidad es la resistencia a una carga pico que se obtiene al aplicar una tasa constante de secuencia de deformación. La Figura 2-1 (a) es un tipo de falla menos definido, la Figura 2-1 (b) muestra como en el método alternativo la estabilidad también puede definirse como la carga obtenida cuando la tasa de

aumento de ésta comienza a disminuir y la curva tiende a ser horizontal.

- El flujo es una medida de deformación de la mezcla de asfalto determinado en la prueba de estabilidad. Es la deformación total de la muestra desde el punto donde la tangente proyectada de la parte lineal de la curva corta el eje x hasta el punto en el que la curva comienza ser horizontal como se muestra en la Figura 2-1. Este punto corresponde usualmente al pico de estabilidad, sin embargo, cuando la condición de falla no está claramente definida puede ser seleccionado como el punto sobre la curva que se encuentre seis unidades de flujo (1 unidad de flujo = 0.01 pulgadas) ó 1.5 mm a la derecha de la mejor línea tangente.

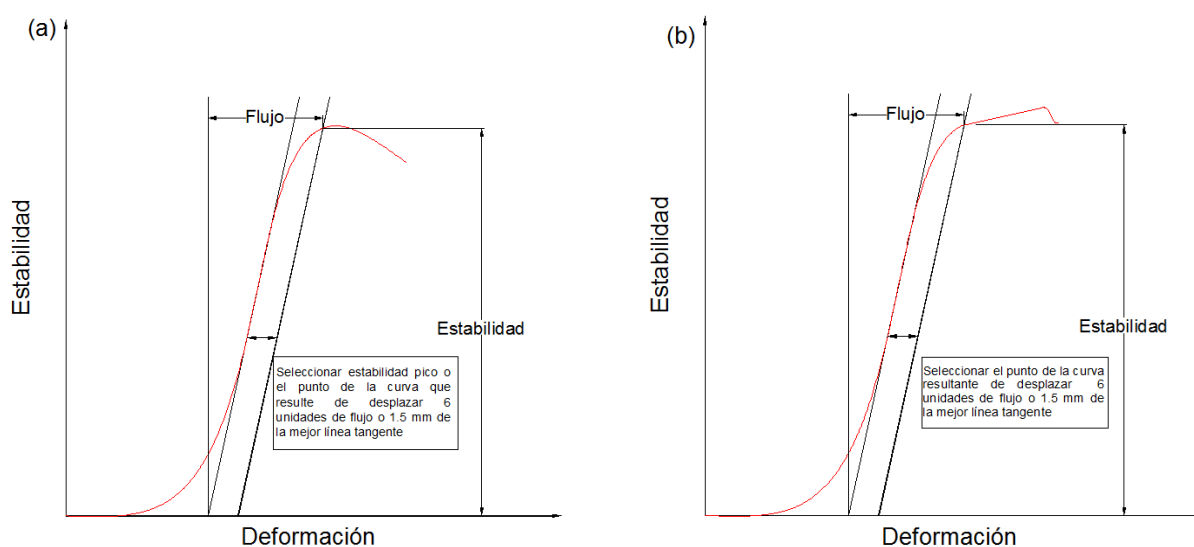
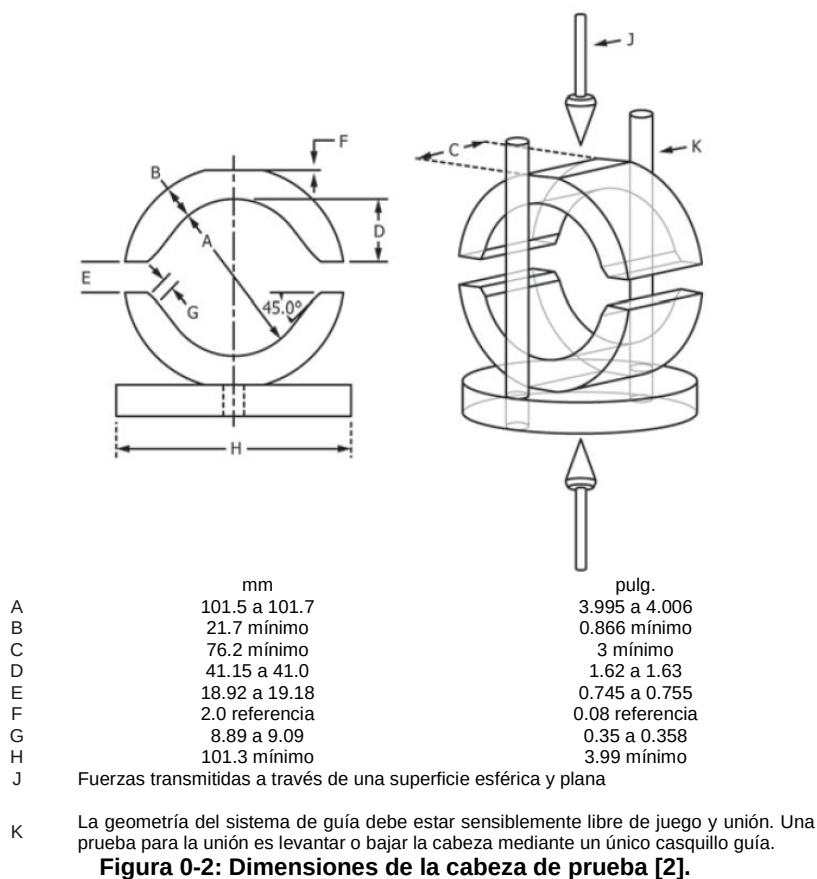


Figura 0-1: Determinación de flujo para dos tipos de fallas en la muestra [2].

- Si el flujo es muy alto la mezcla puede considerarse muy plástica o inestable y si el flujo es muy bajo se considera frágil.
- Los resultados de estabilidad y flujo son aplicables a las mezclas con graduación densa y agregados de tamaño máximo de hasta 1 pulgada (25 mm). Por lo que deben ser el promedio mínimo de 3 probetas. El contenido de asfalto se selecciona en base a la experiencia y los datos de pruebas históricas de los materiales o un ensayo prueba y error para obtener propiedades deseables en la mezcla. La estabilidad, flujo, densidad, vacíos con aire y vacíos rellenos de asfalto pueden ser representados frente al contenido de asfalto permitiendo la selección de un contenido óptimo para la mezcla.
- Las pruebas de campo de estabilidad y flujo en probetas realizadas con una mezcla compactada podrían variar significativamente de los valores de diseño de laboratorio debido a la diferencia que existe en la eficiencia del mezclado y el envejecimiento entre las mezclas de planta y las mezclas de laboratorio.
- Las diferencias significativas en la estabilidad y el flujo de un conjunto de ensayos a otro o un valor medio de varios conjuntos de datos preparados a partir de muestras producidas en la planta pueden indicar un muestreo deficiente, técnica de prueba incorrecta, cambio de clasificación o mal funcionamiento en el proceso realizado en la planta.

El aparato Marshall consta de:

- Cabeza de prueba (breaking head) que son segmentos cilíndricos superiores e inferiores de hierro fundido, el segmento inferior se monta en una base que tiene dos barras de guía perpendiculares de diámetro mínimo de 1/2 pulgada (12.5 mm). Los mangos de guía en el segmento superior dirigen los dos segmentos juntos sobre las varillas guía. Tiene una cabeza de prueba circular con un bisel interior que no tiene dimensiones específicas (ver Figura 2-2).



- Máquina de carga de compresión que consiste en un gato atornillado, montado en un marco de prueba, este debe estar diseñado para cargar en un movimiento vertical uniforme de 2.00 ± 0.15 pulg/min (50 ± 5 mm/min). La potencia es suministrada por un motor eléctrico (ver Figura 2-3).

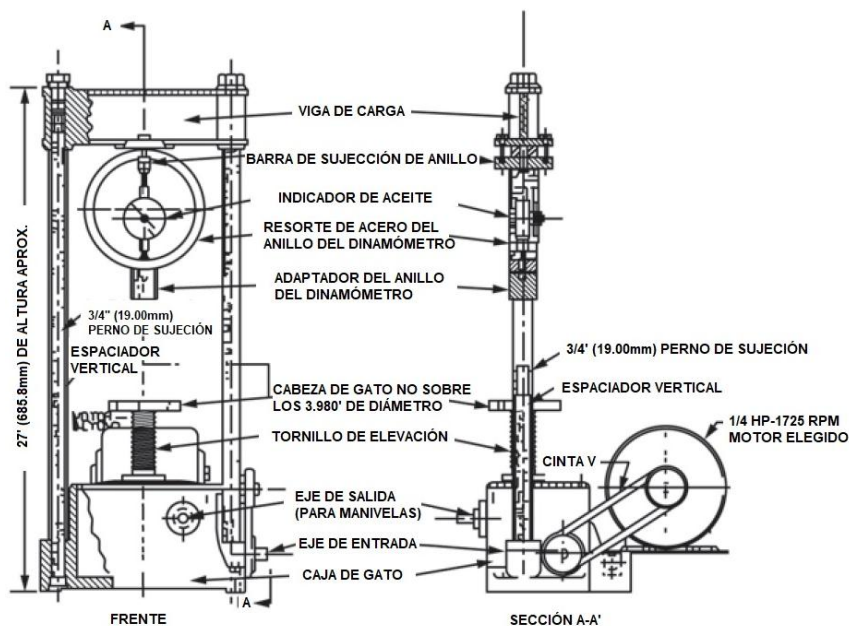


Figura 0-3: Máquina de carga de compresión [2].

- Dispositivo de medición de carga, como mínimo se requiere un dinamómetro calibrado de 5000 libras (20 kN) con un indicador de cuadrante para medir la deflexión del anillo para las cargas aplicadas. Tiene una sensibilidad mínima de 10 libras (50 N). El indicador del cuadrante debe ser graduado en incrementos de 0.0001 pulg (0.0025 mm). El dinamómetro debe estar conectado al marco de prueba y se debe proporcionar un adaptador para transmitir la carga al cabezal de rotura como se indica en la Figura 2-3.
- Medidor de flujo: consta de un manguito guía y un manómetro. Las graduaciones del indicador del medidor de flujo serán incrementos de 0.01 pulgadas (una unidad de flujo o 0.25 mm). Ver Figura 2-4.

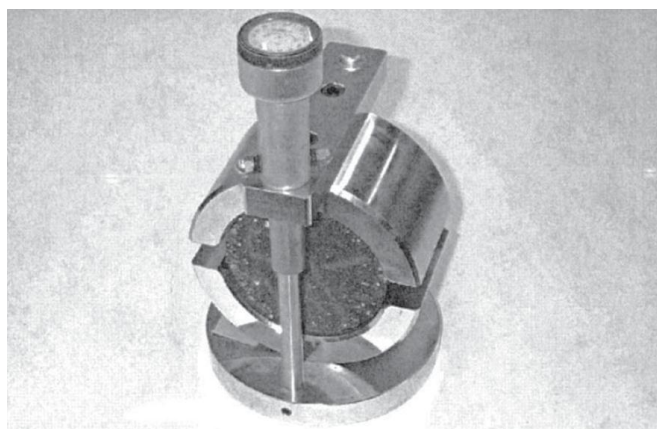


Figura 0-4: Ejemplo de medición de flujo [2].

- El baño María debe ser lo suficientemente profundo para mantener el nivel de agua mínimo 1.25 pulg (30 mm) por encima de la parte superior de las probetas. Se controla termostáticamente para mantener la temperatura del



ensayo.

- El horno debe tener la capacidad de mantener la temperatura especificada en el ensayo.
- Se debe utilizar un termómetro debidamente calibrado.

2.7.1 Procedimiento

- Tener como mínimo 3 muestras de la mezcla, que deberán tener el mismo tipo de agregado, calidad y clasificación, polvo mineral (filler), la misma fuente y cantidad de betún, así como la misma preparación (temperatura, enfriamiento y compactación).
- Las muestras deben ser enfriadas a temperatura ambiente luego de la compactación y deben ser colocadas en una superficie plana.
- Se pueden realizar las pruebas en las muestras tan pronto como alcancen la temperatura ambiente. El ensayo deberá ser completado en las siguientes 24 horas luego de la compactación. Se deben llevar las probetas a la temperatura especificada por inmersión en el baño de agua durante 30 a 40 minutos o colocar en el horno durante 120 a 130 minutos.
 - Limpiar las barras guías y la superficie interior de los segmentos de la cabeza de prueba antes de realizar el ensayo. Lubricar las varillas guía de manera que el segmento de cabeza de prueba superior se deslice libremente sobre ellos. La cabeza de prueba debe tener una temperatura de 70 a 100°F (20°C a 40°C).
 - Retirar la muestra del baño María (eliminar el exceso de agua con una toalla) y colocarla primero en el segmento inferior de la cabeza de prueba. Luego se ubica el segmento superior y finalmente se dispone la muestra en la máquina de ensayo. En caso de disponer del medidor de flujo, colocar sobre una de las barras guías y ajustar a cero.
- El tiempo que debe transcurrir entre el retiro de las muestras del baño de agua y la determinación de la carga final no debe exceder a 30 s. La carga debe ser aplicada a una velocidad constante de 2.00 ± 0.15 pulg/min, (50 ± 5 mm/min) hasta que el medidor de marcación se suelte o la carga comience a disminuir.

2.7.2 Cálculo

Las probetas moldeadas o perfiladas deben satisfacer el requisito de espesor de 2.50 ± 0.10 pulgadas (63.5 ± 2.5 mm). En caso de que existan variaciones, las estabilidades resultantes deben ser corregidas por medio del volumen o espesor real de las muestras, utilizando la Ecuación 2-5 y los factores de correlación de la Tabla 2-2.

$$A = B \times C$$

donde:

Ecuación 2-5

A = estabilidad corregida
B = medida de estabilidad (carga)



C = factor de correlación

Volumen de muestra cm ³	Espesor de muestra ^A		Factor de correlación ^B
	pulgadas	mm	
200 a 213	1.00 (1)	(25.4)	5.56
214 a 225	1.06 (1 1/16)	(27.0)	5.00
226 a 237	1.12 (1 1/8)	(28.6)	4.55
238 a 250	1.19 (13/16)	(30.2)	4.17
251 a 264	1.25 (1 1/4)	(31.8)	3.85
265 a 276	1.31 (1 5/16)	(33.3)	3.57
277 a 289	1.38 (1 3/8)	(34.9)	3.33
290 a 301	1.44 (1 7/16)	(36.5)	3.03
302 a 316	1.50 (1 1/2)	(38.1)	2.78
317 a 328	1.56 (1 9/16)	(39.7)	2.50
329 a 340	1.62 (1 5/8)	(41.3)	2.27
341 a 353	1.69 (1 11/16)	(42.9)	2.08
354 a 367	1.75 (1 3/4)	(44.4)	1.92
368 a 379	1.81 (1 13/16)	(46.0)	1.79
380 a 392	1.88 (1 7/8)	(47.6)	1.67
393 a 405	1.94 (1 15/16)	(49.2)	1.56
406 a 420	2.00 (2)	(50.8)	1.47
421 a 431	2.06 (2 1/16)	(52.4)	1.39
432 a 443	2.12 (2 1/8)	(54.0)	1.32
444 a 456	2.19 (2 3/16)	(55.6)	1.25
457 a 470	2.25 (2 1/4)	(57.2)	1.19
471 a 482	2.31 (2 5/16)	(58.7)	1.14
483 a 495	2.38 (2 3/8)	(60.3)	1.09
496 a 508	2.44 (2 7/16)	(61.9)	1.04
509 a 522	2.50 (2 1/2)	(63.5)	1.00
523 a 535	2.56 (2 9/16)	(65.1)	0.96
536 a 546	2.62 (2 5/8)	(66.7)	0.93
547 a 559	2.60 (2 11/16)	(68.3)	0.89
560 a 573	2.75 (2 3/4)	(69.8)	0.86
574 a 585	2.81 (2 13/16)	(71.4)	0.83
586 a 598	2.88 (2 7/8)	(73.0)	0.81
599 a 610	2.94 (2 15/16)	(74.6)	0.78
611 a 626	3.00 (3)	(76.2)	0.76

^A La relación volumen-espesor se basa en el diámetro de la probeta de 4 pulg (101.6 mm).

^B La estabilidad corregida se obtiene al multiplicar la estabilidad medida en el ensayo por el factor de corrección, el cual se basa en una probeta de 2.5 pulg (63.5 mm) de altura.

Tabla 0-2. Factores de correlación de la estabilidad [2].

2.7.3 Precisión

Los criterios para la aceptabilidad de los resultados de las pruebas de estabilidad y flujo usando este método son:

- Estabilidad Marshall: considera que un resultado de la prueba es el promedio de las tres muestras. Los valores de aceptabilidad para los resultados se muestran en la Tabla 2-3.

Prueba y tipo de índice	Coeficiente de variación (% de la media)	Rango aceptable de dos resultados (% de la media)
Precisión dentro del laboratorio	6	16

Tabla 0-3: Rango de aceptabilidad para la estabilidad [2].

- Flujo Marshall: en la Tabla 2-4 se indican los rangos de aceptabilidad de las pruebas obtenidas por este método. Considera que un resultado es el promedio de las pruebas en las tres muestras.

Prueba y tipo de índice	Coeficiente de variación (% de la media)	Rango aceptable de dos resultados (% de la media)
Precisión dentro del laboratorio	9	26

Tabla 0-4: Rango de aceptabilidad para el flujo [2].

2.8 CONTROL DE CALIDAD, MATERIALES Y MÉTODOS

El adecuado desempeño de una mezcla asfáltica a lo largo de su vida útil depende del control de calidad, el mismo que inicia en el diseño, pasa por la producción y termina con la compactación de la mezcla.

El control de calidad es fundamental para garantizar una mezcla asfáltica acorde a los diseños y los requerimientos del proyecto, para el control de calidad no solo es necesario ensayar el asfalto y los áridos por separado, sino que se debe realizar ensayos sobre combinaciones de estos materiales hasta establecer las proporciones y características adecuadas para la mezcla asfáltica.

El control de calidad será realizado en cumplimiento de las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes, MOP-001-F 2002 del Ministerio de Transporte y Obras Públicas [1]. En la Tabla 2-5 se nombran los ensayos requeridos.

Normas		Material	Descripción
ASTM D 1664	AASHTO T 182	Áridos	Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia de agua
ASTM D 2419	AASHTO T 176	Áridos	Equivalencia de arena
ASTM D 142	AASHTO T 112	Áridos	Determinación de deletéreos
ASTM C 88	AASHTO T 104	Áridos	Resistencia a los sulfatos
ASTM D 4791	-	Áridos	Determinación de partículas largas y atachadas
ASTM D 5821	-	Áridos	Determinación de caras fracturadas
ASTM D 5	AASHTO T 49	Betún	Ensayo de penetración o consistencia de betún
ASTM D 455	AASHTO T 201	Betún	Ensayo de viscosidad de un betún
ASTM D 1664	AASHTO T 182	Betún	Ensayo de adhesividad
ASTM D 36	AASHTO T 53	Betún	Determinación del punto de reblandecimiento
ASTM D70	AASHTO T 228	Betún	Determinación del peso específico del asfalto
ASTM D 1888	-	Mezcla asfáltica	Peso específico bulk de briquetas
ASTM D 3203	AASHTO T 269	Mezcla asfáltica	Porcentaje de vacíos con aire en mezclas bituminosas densas y abiertas

Normas		Material	Descripción
ASTM D 2172	AASHTO T 164	Mezcla asfáltica	Porcentaje, extracción de asfalto
ASTM D 2041	AASHTO T 209	Mezcla asfáltica	Ensayo RICE (Densidad teórica máxima)
ASTM D 6927	AASHTO T 245	Mezcla asfáltica	Ensayo Marshall rotura
ASTM D 1559	AASHTO T 245	Mezcla asfáltica	Diseño de mezclas de método Marshall

Tabla 0-5: Ensayos básicos para el control de calidad de mezclas asfálticas [1].

Los requisitos que deben cumplir tanto los agregados, como el betún y la mezcla asfáltica han sido extraídos de las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001-F 2002, que se detallan en los siguientes numerales [1].

2.8.1 Agregados

En cuanto a granulometría podrán clasificarse en Tipo “A”, “B” o “C”, y los materiales estarán constituidos por fragmentos limpios, duros y resistentes, que deberán estar libres de materia vegetal, no deberán contener un exceso de partículas planas, alargadas o desintegrables, ni estar cubiertos de arcilla u otro material inadecuado. Las características de cada grupo se detallan a continuación.

- Agregados tipo A:** Los materiales gruesos son 100% triturados y los materiales finos pueden ser arena natural o triturada. De ser necesario puede añadirse un relleno mineral con la finalidad de cumplir con los requerimientos de gradación. Este relleno mineral incluso puede ser cemento Portland.
- Agregados tipo B:** Son aquellos en los cuales por lo menos el 50% de las partículas que forman el agregado grueso se obtienen por trituración. El agregado fino y el relleno mineral pueden ser triturados o provenientes de depósitos naturales, según la disponibilidad de dichos materiales en la zona del proyecto
- Agregados tipo C:** Los agregados tipo C para hormigón asfáltico son aquellos provenientes de depósitos naturales o de trituración, según las disponibilidades propias de la región, siempre que se haya verificado que la estabilidad, medida en el ensayo de Marshall, se encuentre dentro de los límites fijados en la Tabla 405-5.2 de la normativa en mención.

Las granulometrías que pueden emplearse para la mezcla asfáltica se indican en la Tabla 2-6.

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través los tamices de malla cuadrada			
Tamaño nominal	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm)	100	--	--	--
3/4" (19.0 mm)	90-100	100	--	--
1/2" (12.5 mm)	--	90-100	100	--
3/8" (9.5 mm)	56-80	--	90-100	100
Nº 4 (4.75 mm)	35-65	44-74	55-85	80-100
Nº 8 (2.36 mm)	23-49	28-58	32-67	65-100
Nº 16 (1.18 mm)	--	--	--	40-80
Nº 30 (0.60 mm)	--	--	--	25-65
Nº 50 (0.30 mm)	5-19	5-21	7-23	7-40
Nº 100 (0.15 mm)	--	--	--	3-20
Nº 200 (0.075 mm)	2-8	2-10	2-10	2-10

Tabla 0-6: Granulometría para mezclas asfálticas (Tabla 405-5.1) [1].

Los agregados deben estar secos, para lo cual incluso se instalarán dos secadores en serie, de manera que, al concluir el mezclado, la humedad de los agregados no exceda del 1%.

Adicional a lo anterior, los agregados que conforman la mezcla asfáltica deben cumplir con los requisitos indicados en la Tabla 2-7.

Material/Ensayo	Requisito
Abrasión	Desgaste menor al 40%, según norma INEN 860
Relleno mineral (pasa tamiz N° 200)	Índice de Plasticidad menor a 4, según normas INEN 691 y 692
	Cumplir con los requisitos especificados en la Norma ASTM 2041-3
	Máximo porcentaje de materiales deletéreos del 1%
Resistencia a los sulfatos	No experimentar desintegración ni pérdida total mayor del 12%, según norma INEN 863
Resistencia a la peladura	Más de un 95% de material bituminoso permanezca impregnando las partículas luego del ensayo de resistencia a la peladura según la Norma AASHTO T 182
Retenido en tamiz N° 4	Deben tener angularidad, el 85% deberá tener por lo menos una cara fracturada y el 80% por lo menos dos caras fracturadas, según Norma ASTM D5821
Pasa tamiz N° 8	Angularidad agregados finos mínimo de 45% según la Norma ASTM C1252
Pasa tamiz N° 4	Equivalente de arena según Normas AASHTO T 176 (ASTM D219), para capa de rodadura en tráfico liviano y mediano debe ser de 45 mientras que para tráfico pesado de 50
Retenido en tamiz N° 200	Máximo porcentaje de partículas alargadas y achatadas cuya relación entre las dimensiones máximas y mínimas deberá estar entre 5 y 10%, según la Norma ASTM D4791

Tabla 0-7: Requisitos de calidad agregados para mezclas asfálticas.

La cantidad de relleno mineral también denominado filler es de mucha importancia, puesto que al combinarse con el betún forman un sistema que se comporta de manera diferente al betún original puesto que constituye un ligante más duro y con menor susceptibilidad térmica, es así que ante un exceso de contenido de relleno mineral el betún resulta escaso y la mezcla resulta frágil y de rápido envejecimiento, mientras que reducidos contenidos de relleno mineral provocan justamente el efecto contrario generando exceso de betún libre y riesgo de exudaciones, de allí la importancia de controlar el rango adecuado de la relación filler/betún.

2.8.2 Cemento asfáltico

En la Tabla 2-8 se presentan las principales características que debe cumplir un cemento asfáltico.

Ensayos	60-70		85-100	
Betún original	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Penetración (25°C, 100 g, 5 s), mm/10	60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C	48	57	45	53
Índice de penetración	-1.5	+1.5	-1.5	+1.5
Solubilidad en Tricloroetileno, %	99	---	99	---
Punto de inflamación, Copa Cleveland	232	---	232	---
Densidad relativa, 25°C/ 25°C	1,00	---	1,00	---
Ensayos envejecimiento				
Variación de masa, %	---	0.8	---	1.0
Penetración, % de penetración original	54	---	50	---
Ductilidad, cm	50	---	75	---

Tabla 0-8: Requisitos cemento asfáltico (Tabla 810.2.1) [1].



2.8.3 Mezcla asfáltica

Las mezclas asfálticas a emplearse en capas de rodadura para vías de tráfico pesado y muy pesado deberán cumplir que la relación entre el porcentaje en peso del agregado pasante del tamiz N° 200 y el contenido de asfalto en porcentaje en peso del total de la mezcla (relación filler/betún) sea mayor o igual a 0.8 y nunca superior a 1.2.

El tipo y grado del material asfáltico que deberá emplearse en la mezcla será mayormente cemento asfáltico con un grado de penetración 60 – 70. En caso de vías que serán sometidas a un tráfico liviano o medio se permitirá el empleo de cemento asfáltico 85 – 100. Para vías o carriles especiales donde se espere el paso de un tráfico muy pesado, se admitirá el empleo de cementos asfálticos mejorados.

a. Compactación

La compactación para las mezclas asfálticas debe alcanzar al menos un 97% entre la densidad obtenida en las briquetas y la densidad de campo, la cual se realizará con rodillos vibratorios de ruedas de acero y finalmente con compactadores de neumáticos con presión elevada.

b. Temperatura

La máxima temperatura de la mezcla para resistir el rodillo sin desplazarse horizontalmente debe estar en el rango de 85 a 163°C.

c. Ensayos y tolerancias

Para la mezcla asfáltica deberá emplearse una de las granulometrías indicadas en la Tabla 2-6. El tipo y graduación de los agregados se definirá de acuerdo con las condiciones de empleo y utilización que se prevé para la carpeta asfáltica.

Los agregados deberán cumplir los requisitos de calidad, cuyas pruebas están determinadas en la Tabla 2-7. La granulometría será comprobada mediante el ensayo INEN 696, que se efectuará sobre muestras que se tomarán de los acopios o stocks, de las tolvas de recepción en caliente y de la mezcla asfáltica preparada, para asegurar que se encuentre dentro de las tolerancias establecidas para la fórmula maestra de obra.

Las briquetas serán tomadas de la mezcla asfáltica preparada de acuerdo con la fórmula maestra de obra, sobre las cuales se realizarán los ensayos Marshall. La mezcla deberá cumplir los requisitos especificados en las Tablas 2-9, 2-10 y 2-11, y las tolerancias admisibles de la Tabla 2-12.

Tipo de tráfico	Muy pesado		Pesado		Medio		Liviano	
Criterios Marshall	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
No. de golpes/cara	75		75		50		50	
Estabilidad (lb)	2200	---	1800	---	1200	---	1000	2400
Flujo (pulg/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos en mezcla	3	5	3	5	3	5	3	5
% de vacíos agregado mineral (VAM)	Ver Tabla 2-10							



Relación filler/betún	0.8	1.2	0.8	1.2		
% de vacíos rellenos de asfalto (VFA)	Ver Tabla 2-11					

Tabla 0-9: Requisitos especificados para la mezcla asfáltica (Tabla 405.5.4) [1].

Tamaño máximo		VAM mínimo, por ciento		
mm	pulg	Vacíos de diseño, por ciento		
		3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19	3/4	12.0	13.0	14.0
25	1	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

Tabla 0-10: Porcentaje mínimo de vacíos agregado mineral (VAM).

ESAL de diseño (millones)	VFA
< 0.30	70-80
0.30 a 3	65-78
3.00 a 30	65-75

Tabla 0-11: Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto [3].

Peso agregados secos		
Tamaño tamiz (pulgadas)	Tamaño tamiz (mm)	Tolerancia (%)
1/2	12.5	±8
3/8	9.5	±7
N° 4	4.75	±7
N° 8	2.36	±6
N° 16	1.18	±6
N° 30	0.6	±5
N° 50	0.3	±5
N° 100	0.15	±4
N° 200	0.075	±3
Dosificación material asfáltico en peso		±0.3
Temperatura al salir de mezcladora		± 10°C
Temperatura colocada en sitio		± 10°C

Tabla 0-12: Tolerancias.



El espesor de la capa terminada de hormigón asfáltico no deberá variar en más de 6 mm de lo especificado y el promedio de los espesores medidos no serán menores al espesor establecido.

La Tabla 2-9 se basa en el volumen de tráfico, de ahí que su clasificación se realiza según la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDP) esperada en el momento de poner en funcionamiento la vía, luego de su construcción o de su rehabilitación. Los vehículos pesados no comprenden autos, ni camionetas. La Tabla 2-13 muestra la clasificación del tráfico según el IMDP.

Tráfico	IMDP
Liviano	Menos de 50
Medio	50 a 200
Pesado	200 a 1000
Muy pesado	Más de 1000

Tabla 0-13: Clasificación de tráfico según IMDP [1].

3. MEZCLA ASFÁLTICA VÍA GUALACEO – PLAN DE MILAGRO

La mezcla asfáltica utilizada en la presente investigación es la correspondiente a la del proyecto “Reconstrucción de la carretera Gualaceo-Limón, tramo: Gualaceo-Plan de Milagro, con 60.77 km de longitud” a cargo de la Dirección Provincial del Azuay del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Dentro de este capítulo se realiza un análisis pormenorizado de las propiedades y características de los agregados, betún asfáltico y mezcla asfáltica propias del proyecto de construcción de la vía Gualaceo – Plan de Milagro, definiendo en cada caso los parámetros que deben cumplir conforme a las especificaciones técnicas.

Los parámetros de control están en función del tamaño nominal del agregado que fue seleccionado en el diseño de la mezcla asfáltica, así como del tráfico esperado en la vía, en base a los cuales se definieron los rangos de aceptación de cada requerimiento de los ensayos Marshall (fajas granulométricas de trabajo, porcentaje de vacíos, VAM, VFA, contenido de betún asfáltico y relación filler/betún).

De igual forma, se procedió a verificar el diseño de la mezcla asfáltica en caliente que se está utilizando en la construcción de la vía, mediante la réplica en laboratorio del mismo para someterlo a los ensayos Marshall. Adicionalmente se realizó una comprobación de las propiedades de los agregados y del betún asfáltico.

Posteriormente, una vez probado el diseño de la mezcla asfáltica, la puesta en obra de éste se estableció mediante la construcción de un tramo de prueba, donde se definió el número de pasadas de la maquinaria disponible (rodillos tándem y neumático) que permitan alcanzar en campo las densidades requeridas en las especificaciones técnicas.

Los respectivos ensayos de laboratorio para la verificación del diseño de la mezcla asfáltica, así como los ensayos realizados en los agregados y en el betún asfáltico se encuentran en el **Anexo 1**.

3.1 TRÁFICO Y EJES EQUIVALENTES (ESALs)

Conforme al estudio de tráfico realizado por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), la vía Gualaceo – Plan de Milagro contará con un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) para el año 2019 de 1,675 vehículos y para el año 2029 de 2,644 vehículos. Conforme a lo establecido por el MTOP el periodo de vida útil de la carpeta asfáltica es de 10 años. En la Tabla 3-1 se presenta el TPDA anual conforme se indica en el referido estudio.

Año	TPDA proyectado anual			Número de vehículos acumulado anual		
	Liviano	Pesados	Total	Liviano	Pesados	Total
2019	1458	217	1,675	532,170	79,205	611,375
2020	1533	225	1,758	559,545	82,155	641,700
2021	1612	233	1,845	588,380	85,106	673,486
2022	1695	241	1,936	618,675	88,058	706,733
2023	1782	250	2,032	650,430	91,376	741,806
2024	1875	260	2,135	684,375	95,061	779,436

Año	TPDA proyectado anual			Número de vehículos acumulado anual		
	Liviano	Pesados	Total	Liviano	Pesados	Total
2025	1960	269	2,229	715,400	98,014	813,414
2026	2048	278	2,326	747,520	101,333	848,853
2027	2140	288	2,428	781,100	105,018	886,118
2028	2237	298	2,535	816,505	108,704	925,209
2029	2338	306	2,644	853,370	111,662	965,032
Tránsito acumulado 10 años				7,547,470	1,045,692	8,593,162

Tabla 3-1: Tráfico proyectado para la vía Gualaceo – Plan de Milagro.
Fuente: Estudio de tráfico de la vía Gualaceo – Plan de Milagro, MTOP

El tráfico total acumulado para 10 años en dos direcciones es de 8'593,162 vehículos, cuyo resumen se muestra en la Tabla 3-2.

Tipo de vehículo / Periodo	10 años
Liviano	7,547,470
Pesados	1,045,692
TOTAL	8,593,162

Tabla 3-2: Tráfico proyectado acumulado para la vía Gualaceo – Plan de Milagro.

En base al tráfico proyectado y al estudio de pavimentos realizado por el MTOP, el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas (ESALs Equivalent Single Axel Loads) esperados en la vía Gualaceo – Plan de Milagro para un periodo de vida útil de 10 años es de 1'916,453.

Estos valores de tráfico y ESALs son requeridos para la definición de los parámetros Marshall con los que se comprobará la calidad de mezcla asfáltica. La intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDP) en el momento de poner en funcionamiento la vía (año 2019) de acuerdo con la Tabla 3-1 es de 217 vehículos, por lo que se cataloga a la vía como de tráfico pesado, según la clasificación indicada en el Capítulo 2 de este documento.

3.2 FUENTE DE MATERIALES

La mezcla asfáltica es elaborada en la planta de producción ubicada en el sector de La Josefina, cantón Paute, provincia del Azuay. Los agregados utilizados en la mezcla están constituidos por materiales provenientes de la cantera ubicada en la parroquia de Cochancay, Cantón La Troncal, provincia del Cañar (coordenadas 689,800E-9,727,200N UTM WGS84) y por materiales provenientes de las obras de estabilización del cerro Tamuga, cantón Gualaceo, provincia del Azuay (coordenadas 738,800E-9,683,500N UTM WGS84). En la Figura 3-1 se observa la ubicación de las fuentes de materiales para la construcción de la vía.

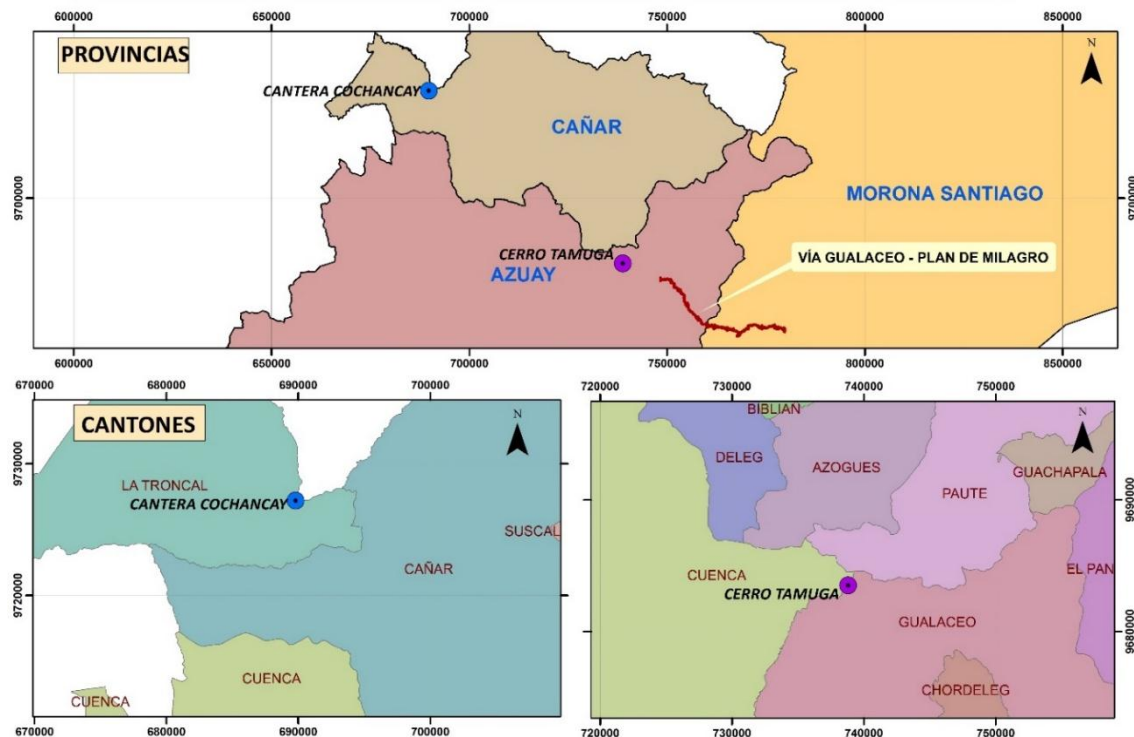


Figura 3-1: Ubicación fuentes de materiales (áridos).

El cerro Tamuga está constituido por andesitas que en su parte superior se encuentran meteorizadas y fracturadas, mientras que la cantera Cochancay por materiales del lecho del río Bulubulu. Los materiales gruesos (3/4" y parte del material de 3/8") serán explotados del cerro Tamuga, mientras que los materiales finos (parte del material de 3/8" y arena natural) serán extraídos de la cantera Cochancay; en todo caso, los materiales gruesos son 100% triturados.

La distancia desde la planta de producción de la mezcla asfáltica (ubicada en las inmediaciones del Cerro Tamuga) hasta el sitio donde se ejecuta el proyecto vial (abscisa 0+000) es de 15 km.

3.3 CEMENTO ASFÁLTICO

El cemento asfáltico utilizado en el proyecto vial es el Tipo AC-20, obtenido de los procesos de refinación del crudo del petróleo en la refinería de Esmeraldas, Ecuador, empleado a nivel nacional en la elaboración mezclas asfálticas en caliente.

De acuerdo con las especificaciones MOP-001-F 2002 [1] definidas en el Capítulo 2, al ser la vía de tráfico pesado, el ligante asfáltico es de penetración 60-70, el cual debe cumplir con los parámetros indicados en la Tabla 3-3.

Ensayo	60-70	
Cemento asfáltico	Mínimo	Máximo
Penetración (25°C, 100 g, 5 s), mm/10	60	70
Punto de ablandamiento A y B, °C	48	57
Índice de penetración	-1.5	+1.5
Solubilidad en tricloroetileno, %	99	---
Punto de inflamación, copa Cleveland	232	---

Ensayo	60-70	
Densidad relativa, 25°C/ 25°C	1.00	---
Envejecimiento RTFOT		
Variación de masa, %	---	0.8
Penetración, % de penetración original	54	---
Ductilidad, cm	50	---

Tabla 3-3: Parámetros que debe cumplir el cemento asfáltico.

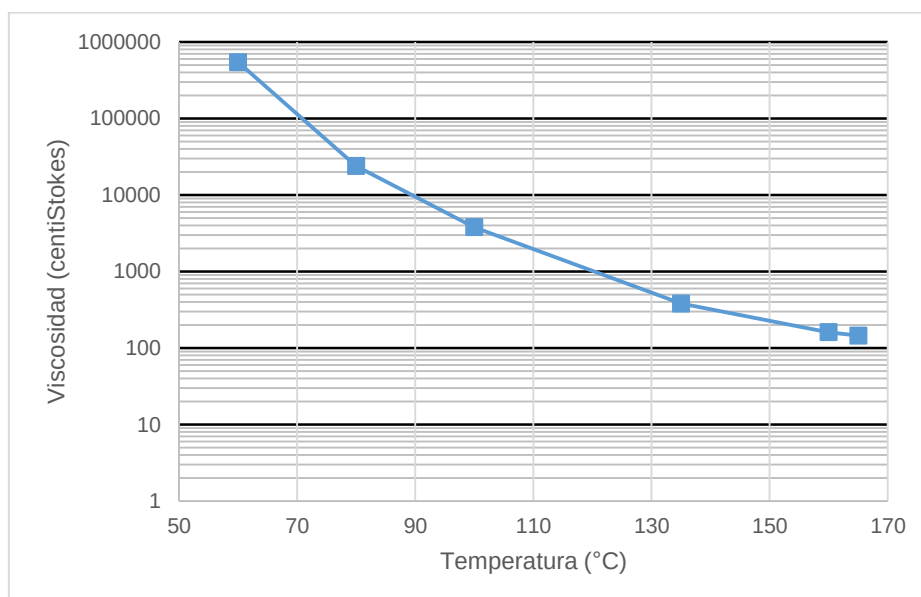
Por la particularidad de estos ensayos, se requirió el apoyo del laboratorio de carreteras de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (ver **Anexo 1**), dando como resultado los valores mostrados en la Tabla 3-4.

Ensayo	60-70
Cemento asfáltico	
Penetración (25°C, 100 g, 5 s), mm/10	69
Punto de ablandamiento A y B, °C	50.2
Índice de penetración	-0.4
Solubilidad en Tricloroetileno, %	-
Punto de inflamación, Copa Cleveland	280
Densidad relativa, 25°C/ 25°C	1.014
Envejecimiento RTFOT	
Variación de masa, %	0.50
Penetración, % de penetración original	-
Ductilidad, cm	48

Tabla 3-4: Resultados de los ensayos en el cemento asfáltico tipo AC-20.

En base a los resultados de laboratorio obtenidos, se determina que el ligante asfáltico cumple con los requerimientos para su uso en la fabricación de la mezcla asfáltica en caliente del proyecto.

Adicionalmente, se realizó la curva de viscosidad – temperatura del cemento asfáltico (Figura 3-2), con la finalidad de determinar las temperaturas óptimas tanto para la fabricación de la mezcla como para su colocación en obra.


Figura 3-2: Curva viscosidad – temperatura cemento asfáltico tipo AC-20.

De acuerdo a la norma INVIAS E-747-13 [10], la producción de la mezcla asfáltica se debe realizar con una viscosidad del betún de 170 ($\pm$ 20) centiStokes y para la compactación en obra de 280 ($\pm$ 30) centiStokes. En tal virtud, conforme a la Figura 3-2, las temperaturas óptimas son de 157 a 161°C para el mezclado y de 142 a 148°C para la compactación. Estas temperaturas fueron verificadas previo a la toma de las muestras requeridas para el desarrollo de esta investigación.

3.4 AGREGADOS

Como se indicó, los agregados de la mezcla asfáltica comprenden la combinación de dos fuentes de materiales diferentes. La proporción utilizada en el diseño de la mezcla se muestra en la Tabla 3-5.

Fuente material	Tipo	(%)
Tamuga	Triturado 3/4"	18
Tamuga	Triturado 3/8"	21
Cochancay	Triturado 3/8"	31
Cochancay	Arena	30

Tabla 3-5: Proporción uso de agregados.

Dentro del 30% definido como arena de Cochancay se encuentra incluido el polvo de piedra requerido para la mezcla, proveniente de la trituración de los agregados de 3/4" y 3/8" de ambas fuentes de materiales.

La mezcla asfáltica del proyecto tiene un tamaño nominal de partícula de 1/2", por lo que según lo indicado en las especificaciones MOP-001-F 2002 [1], el tamaño de los agregados debe estar enmarcado dentro de la faja granulométrica mostrada en la Tabla 3-6.

Tamiz	% en peso que pasa los tamices de malla cuadrada (faja de diseño)
Tamaño nominal 1/2"	
1" (25.4 mm)	--
3/4" (19.0 mm)	100
1/2" (12.5 mm)	90-100
3/8" (9.5 mm)	--
Nº 4 (4.75 mm)	44-74
Nº 8 (2.36 mm)	28-58
Nº 16 (1.18 mm)	--
Nº 30 (0.60 mm)	--
Nº 50 (0.30 mm)	5-21
Nº 100 (0.15 mm)	--
Nº 200 (0.075 mm)	2-10

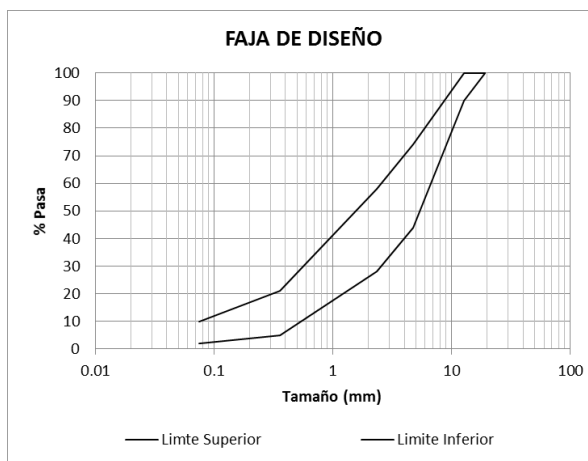


Tabla 3-6: Granulometría agregados – faja de diseño.

Se procedió a realizar el ensayo granulométrico de cada tamaño de agregado (ver **Anexo 1**) definidos en la Tabla 3-5, tomando las muestras del stock respectivo. De igual forma se procedió a realizar la granulometría de la combinación de los agregados

en las proporciones indicadas en la Tabla 3-5. En la Tabla 3-7 se presenta la curva granulométrica de los agregados combinados.

Tamiz	% en peso que pasa los tamices de malla cuadrada
Tamaño nominal 1/2"	
3/4" (19.0 mm)	100
1/2" (12.5 mm)	92
3/8" (9.5 mm)	86
Nº 4 (4.75 mm)	57
Nº 8 (2.36 mm)	40
Nº 16 (1.18 mm)	28
Nº 30 (0.60 mm)	18
Nº 50 (0.30 mm)	12
Nº 100 (0.15 mm)	7
Nº 200 (0.075 mm)	5

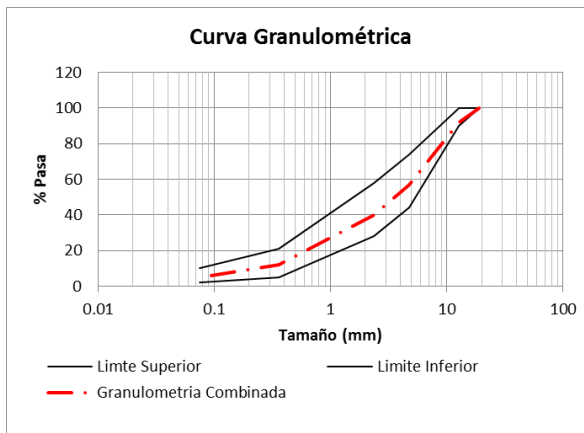


Tabla 3-7: Granulometría agregados combinados.

Una vez definida la granulometría de los agregados combinados para la fabricación de la mezcla asfáltica, en la Tabla 3-8 se presenta la faja de trabajo correspondiente, es decir los límites máximo y mínimo dentro de los que puede enmarcarse la granulometría de los agregados durante la producción de la mezcla asfáltica, considerando las tolerancias definidas.

Tamiz	% en peso que pasa los tamices de malla cuadrada (faja de trabajo)		
	Máx.	Diseño	Mín.
3/4" (19.0 mm)	100	100	100
1/2" (12.5 mm)	90	92	100
3/8" (9.5 mm)	-	86	-
Nº 4 (4.75 mm)	50	57	64
Nº 8 (2.36 mm)	34	40	46
Nº 16 (1.18 mm)	-	28	-
Nº 30 (0.60 mm)	-	18	-
Nº 50 (0.30 mm)	7	12	17
Nº 100 (0.15 mm)	-	7	-
Nº 200 (0.075 mm)	2	5	8

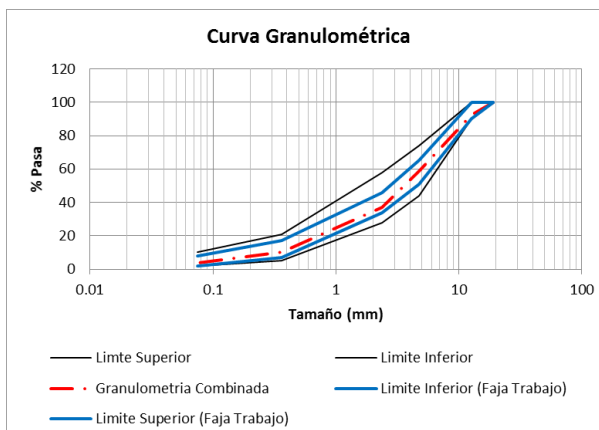


Tabla 3-8: Granulometría agregados – faja de trabajo.

La granulometría de la mezcla, a más de la comprobación realizada previo a la adición del cemento asfáltico, también será verificada luego de realizar la extracción de asfalto tanto de las briquetas como de los núcleos, lo cual será analizado en el Capítulo 4.

En la Tabla 3-9 se presentan los pesos específicos de cada agregado por separado, así como de la combinación de los mismos.

Fuente material	Tipo	(%)	Peso específico (g/cm ³)
Tamuga	Triturado 3/4"	18	2.60
Tamuga + Cochancay	Triturado 3/8"	52	2.65
Cochancay	Arena	30	2.57
Combinado		100	2.62

Tabla 3-9: Peso específico agregados.

El peso específico de la combinación de agregados es de 2.62 g/cm³, valor que se encuentra acorde a las características de materiales de origen natural, adecuados para la fabricación de mezclas asfálticas [4].

En la Tabla 3-10 se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio requeridos para la comprobación de la calidad de los agregados que conforman la mezcla asfáltica.

Material / Ensayo	Resultado ensayo	Especificación
Abrasión	24.38% (Material 3/4" – 3/8") 24.50% (Material 3/8" – No. 4)	Menor al 40%
Agregado (Pasa tamiz Nº 200)	NP (No plástico)	Menor a 4
	CUMPLE	ASTM 2041-03
Deletéreos	0.11% (Material 3/4" – 3/8") 0.27% (Material 3/8" – No. 4)	Menor a 1%
Resistencia a los sulfatos	3.90%	Menor a 12%
Resistencia a la peladura	3.00%	Menor a 5%
Retenido en tamiz Nº 4	99.88% (Material 3/4" – 1/2") 99.27% (Material 1/2" – 3/8")	Mayor a 85%
Pasa tamiz Nº 4	53%	Mayor a 45%



Material / Ensayo	Resultado ensayo	Especificación
Retenido en tamiz N° 200	0.25%	Menor a 1%

Tabla 3-10: Resultados ensayos de laboratorio agregados.

En conclusión, las características de los agregados cumplen con los requerimientos especificados para la fabricación de la mezcla asfáltica. En cuanto al ensayo de peladura, la adherencia fue mejorada con el uso de un aditivo, con lo que se obtuvo el resultado reflejado en la Tabla 3-10.

3.5 MEZCLA ASFÁLTICA

Como se indicó anteriormente, se cataloga a la vía como de tráfico pesado, según la clasificación indicada en el Capítulo 2 de este documento. En consecuencia, de acuerdo con las especificaciones MOP-001-F 2002, la mezcla asfáltica debe cumplir con los parámetros indicados en la Tabla 3-11 para tráfico pesado. Por otra parte, según se definió, el valor del VAM (porcentaje de vacíos en el agregado mineral) se define a través del tamaño nominal del agregado que es de 1/2"; y el VFA (porcentaje de vacíos rellenos de asfalto) en función de los ESALs de la vía que son 1'916,453.

Tipo de tráfico	Pesado	
	Min.	Max.
Criterios Marshall		
No. de golpes por cara	75	
Estabilidad (lb)	1800	-
Flujo (pulg/100)	8	14
Porcentaje de vacíos en mezcla	3	5
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM)	14	-
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto (VFA)	65	78
Relación filler/betún	0.8	1.2

Tabla 3-11: Parámetros que debe cumplir la mezcla asfáltica.

El diseño de la mezcla asfáltica del proyecto define el porcentaje óptimo de asfalto en 6.1% para un 4% de vacíos, con lo cual a partir de las curvas de diseño Marshall presentadas en la Figura 3-3, se obtienen los resultados de diseño presentados en la Tabla 3-12.

Muestra	Densidad Bulk	RICE	% Vacíos	VAM	VFA	Estabilidad	Flujo	Contenido de betún asfáltico
Curvas de diseño	2.363	2.469	4.00	14.6	74	2730	12.30	6.10
Especificación MTOP			[3 - 5]	> 14	[65 - 78]	> 1800	[8 - 14]	[6.1 ± 0.3]

Tabla 3-12: Diseño Marshall para 4% de vacíos. Vía Gualaceo – Plan de Milagro.

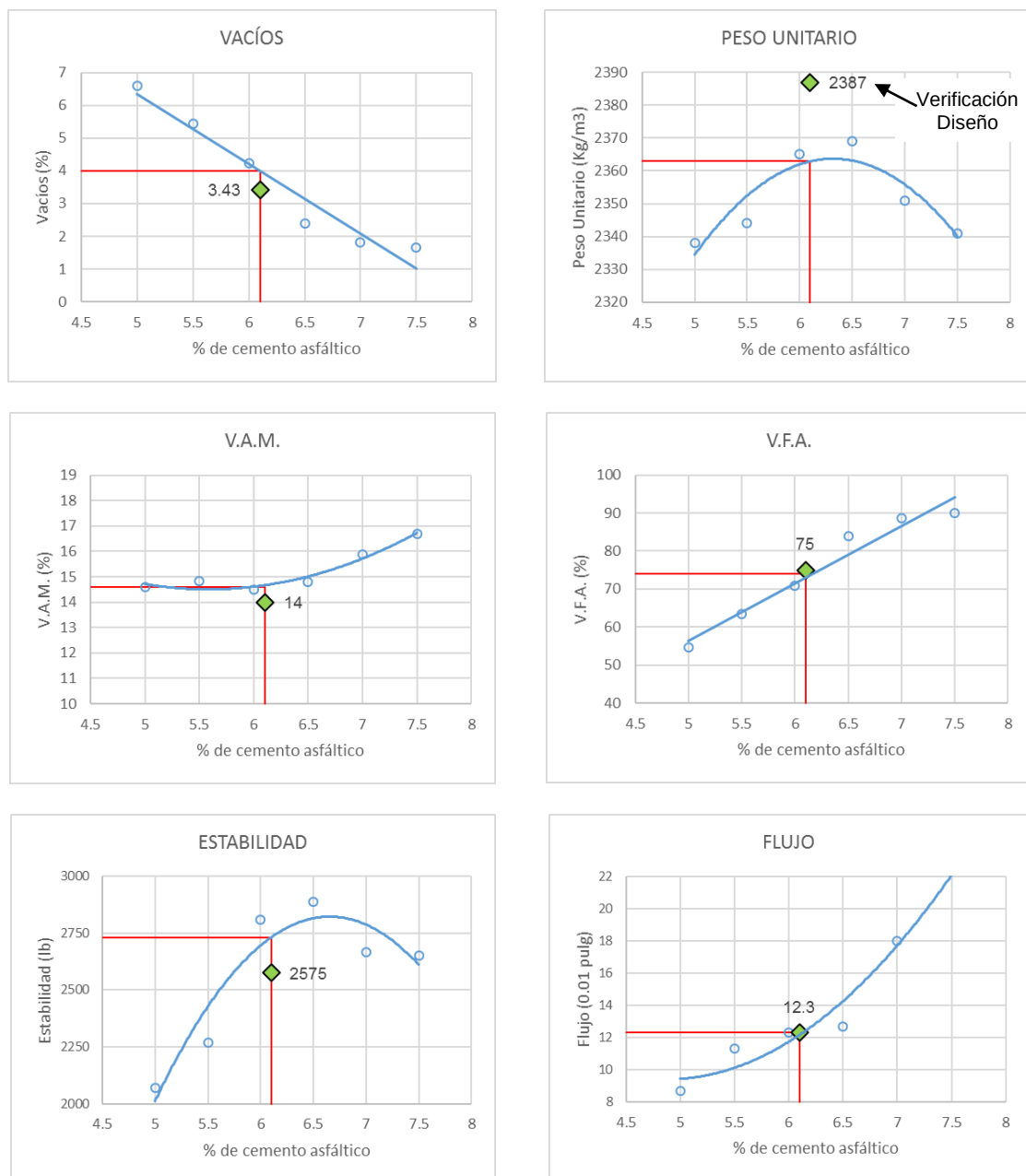


Figura 3-3: Curvas de diseño Marshall.

Como verificación de este diseño se confeccionaron 3 briquetas (75 golpes en cada cara) en laboratorio con las proporciones de agregados antes definidas y la adición de 6.1% de asfalto Tipo AC-20 para la realización de los respectivos ensayos Marshall (ver **Anexo 1**), dando como resultado lo indicado en la Tabla 3-13.

Muestra	Densidad BULK	RICE	% Vacíos	VAM	VFA	Estabilidad	Flujo	Contenido betún asfáltico
Curvas de diseño	2.387	2.472	3.43	14	75	2575	12.30	6.10
Especificación MTOP			[3 - 5]	> 14	[65 - 78]	> 1800	[8 - 14]	[6.1 ± 0.3]

Tabla 3-13: Resultados de comprobación del diseño Marshall.

La comprobación del diseño realizada arroja resultados satisfactorios, en cumplimiento de todos los parámetros requeridos en las especificaciones antes definidas.

Por otra parte, se hace notar que el valor de estabilidad obtenido tanto en las curvas de diseño como en la comprobación del mismo es superior a los valores de estabilidad que resultan en obra mediante la confección de briquetas previo a la compactación de la mezcla, siendo éstos últimos los más representativos para el control de calidad y análisis posteriores en esta investigación, cuyos resultados se analizan en el Capítulo 4. La variación se debe a que tanto las curvas de diseño como las briquetas de comprobación se confeccionan netamente en laboratorio, con un control pormenorizado de todos los procesos para la fabricación de las mismas.

3.5.1 Tramo de prueba

Para la puesta en obra de la carpeta asfáltica se realizó un tramo de prueba para definir el número de pasadas de la maquinaria que permita una compactación en cumplimiento de las especificaciones técnicas (densidad de campo superior al 97% de la densidad de laboratorio obtenida en las briquetas confeccionadas en obra).

En el tramo de prueba se requería la colocación de una carpeta asfáltica de 2". La maquinaria disponible fue un rodillo compactador tándem de 8 toneladas y un rodillo neumático para el acabado (ver Figuras 3-4 y 3-5, respectivamente).



Figura 3-4: Compactación con rodillo tándem de 8 toneladas.



Figura 3-5: Acabado y compactación con rodillo neumático.

Conforme a la recomendación del constructor el tramo de prueba se realizó con dos pasadas del rodillo Tándem (una de ida y una de regreso) y 24 pasadas del rodillo neumático (12 de ida y 12 de regreso), dando como resultado una densidad de campo de 2.375 g/cm^3 , la cual fue medida con un densímetro nuclear luego de que la temperatura de la mezcla disminuyó por debajo de los 50°C . La temperatura de la mezcla fue chequeada en la volqueta, previo a su vaciado dando un valor de 148°C , la cual es adecuada para la compactación de la misma.

A su vez, con la mezcla asfáltica previo a ser colocada se confeccionaron 3 briquetas, cuya densidad media obtenida en laboratorio es de 2.369 g/cm^3 , de ahí que la compactación resultante en campo es del 100.3%, por ende, la metodología de compactación propuesta fue correcta.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El objeto del presente capítulo es evaluar los resultados obtenidos, verificando en primera instancia la calidad de la mezcla asfáltica durante su colocación, para lo cual se utilizaron los procesos de control como son temperatura, compactación, y la confección y prueba de 27 briquetas obtenidas en 9 juegos de 3, cada uno en abscisas diferentes.

Partiendo de la adecuada calidad de la mezcla asfáltica se procede a comparar todos los parámetros relevantes de control de calidad efectuados en un inicio a través de las briquetas con los obtenidos en los núcleos extraídos luego de 30 y 60 días, para tal efecto se indican conceptos estadísticos relevantes para el presente trabajo como lo son las pruebas de hipótesis y pruebas estadísticas a emplear para comparación de medias de las poblaciones.

Los parámetros comparados son densidad bulk, densidad RICE, granulometría, porcentaje de vacíos, vacíos en el agregado mineral (VAM), vacíos rellenos de asfalto (VFA), contenido de betún asfáltico, relación filler/betún, estabilidad y flujo.

4.1 OBTENCIÓN DE DATOS

Dentro de la vía Gualaceo – Plan de Milagro se determinaron un total de 9 puntos para realización del presente trabajo de investigación, 6 en el acceso a Huaymincay y 3 en el acceso a Guazhalán.

Las fechas de obtención de muestras se indican a continuación:

- Las briquetas fueron obtenidas en el momento de colocación de la mezcla asfáltica según el avance del tendido de la misma, desde el 27 de abril de 2017 hasta el 04 de mayo de 2017. Se tuvo precaución de anotar y referenciar la abscisa en la que se tomó la muestra para cada juego (3 unidades) de ellas.
- La primera campaña de extracción de núcleos fue realizada el día 05 de junio de 2017, en las abscisas donde se tomaron las muestras para las briquetas.
- La segunda campaña de extracción de núcleos fue realizada el 05 de julio de 2017, en sitios aledaños a aquellos en las que se realizó la primera campaña de extracción.

La ubicación geográfica, costado de la vía, día de tendido de asfalto en las abscisas de las muestras tomadas se indica en las Tablas 4-1 y 4-2.

Abscisa	Costado de la vía	Fecha tendido asfalto	Coordenadas	
			E	N
0+241	Izquierdo	02/05/2017	747320	9678593
0+465	Derecho	02/05/2017	747419	9678405
0+765	Izquierdo	03/05/2017	747598	9678172
1+080	Derecho	03/05/2017	747846	9677997
1+433	Izquierdo	04/05/2017	748092	9677950
1+723	Derecho	04/05/2017	748358	9678023

Tabla 4-1: Datos generales muestras en acceso a Huaymincay.

Abscisa	Costado de la vía	Día tendido asfalto	Coordenadas	
			E	N
0+420	Derecho	27/04/2017	747862	9679987
0+684	Izquierdo	28/04/2017	747921	9679734
0+993	Derecho	29/04/2017	748194	9679600

Tabla 4-2: Datos generales muestras en acceso a Guazhalán.

En adelante se presentan los resultados de forma unificada de los 9 sitios donde se confeccionaron las briquetas y se extrajeron los núcleos a 30 y 60 días, sin diferenciar entre los dos tramos ya que resulta un dato irrelevante para la investigación, pues se trata de la misma mezcla asfáltica.

4.2 FORMATOS PARA PROCESAMIENTO DE DATOS

Las definiciones para la terminología utilizada fueron expresadas en los capítulos 2 y 3. Para realizar los cálculos respectivos y obtener los resultados se realizaron varios formatos tendientes a llevar a cabo un manejo adecuado y ordenado de la información, y obtener los resultados buscados.

La Figura 4-1 refleja la obtención de la densidad RICE, mientras que los resultados del ensayo Marshall se muestran en la Figura 4-2, siendo esta última la que compila la totalidad de los resultados de los ensayos realizados para cada briketa o núcleo, anotando datos básicos como la fecha de realización, abscisa en la que se tomó la muestra o extrajo el núcleo, normativa en base a la que se realiza cada ensayo, los diferentes pesos para cada una de las briquetas o núcleos según corresponda, cálculos para el ensayo de extracción de asfalto y granulometría. Los valores de estabilidad y flujo son determinados según se indica en la Figura 4-3 para la briketa o núcleo, acorde a lo establecido en la Norma ASTM D6927-15 [2].

PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez	
Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm) Norma : ASTM D 2041-00	Lugar de muestreo: Vía Gualaceo-Plan de Milagro Acceso Guazhalán Material : Mezcla asfáltica en Caliente Procedencia: Planta de Producción La Josefina Destino: - Abscisa: 0+993
Fecha de Muestreo : 29/4/2017 Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel Revisado por : Ing. Cristian Flores	
A Peso del material (g)	400.00
B Peso picnómetro+agua (g)	1415.20
C Peso picnómetro +agua+material (g)	1654.15
$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} =$	2.484

Figura 4-1: Determinación gravedad específica RICE.



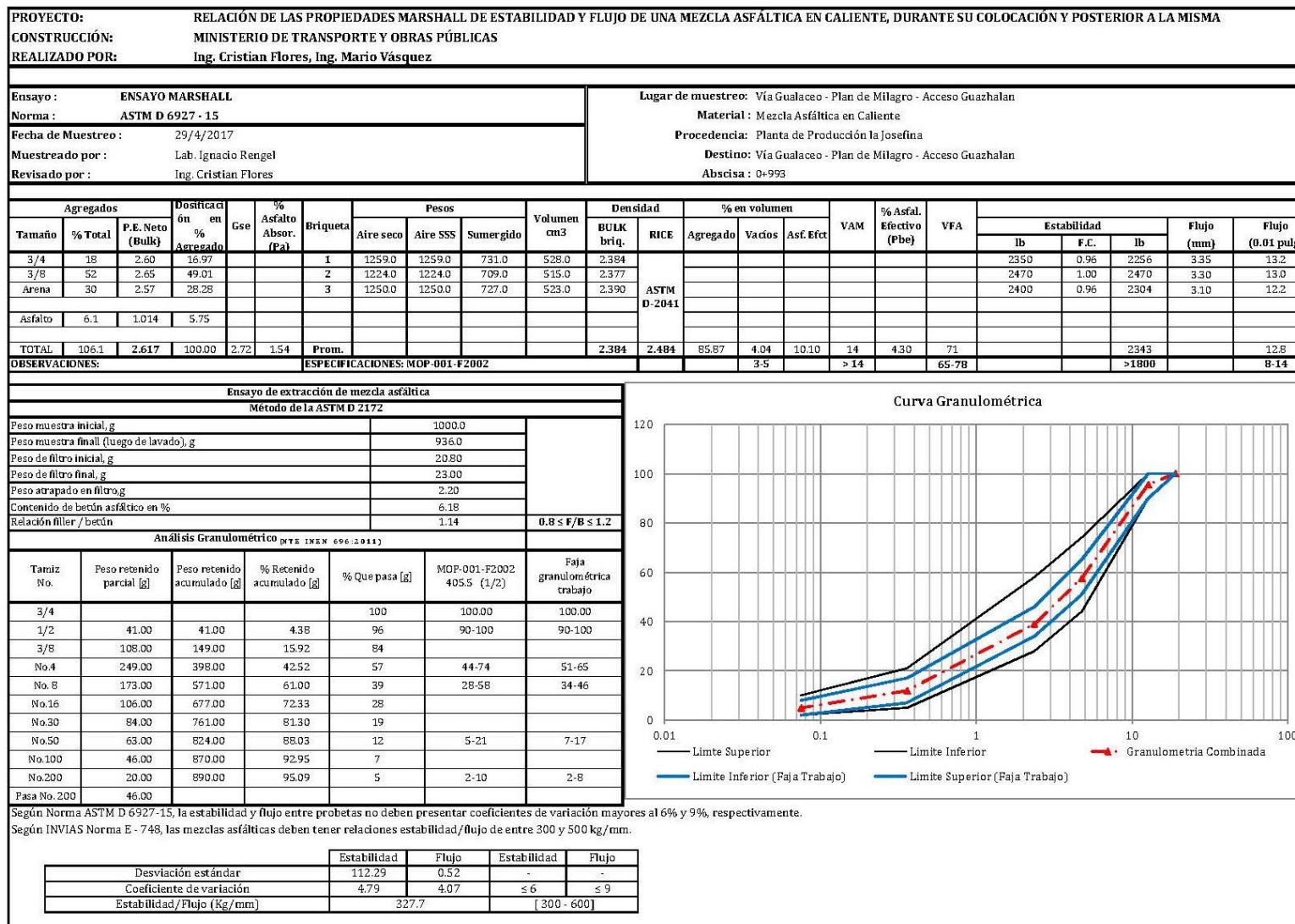


Figura 4-2: Resultados ensayo Marshall.

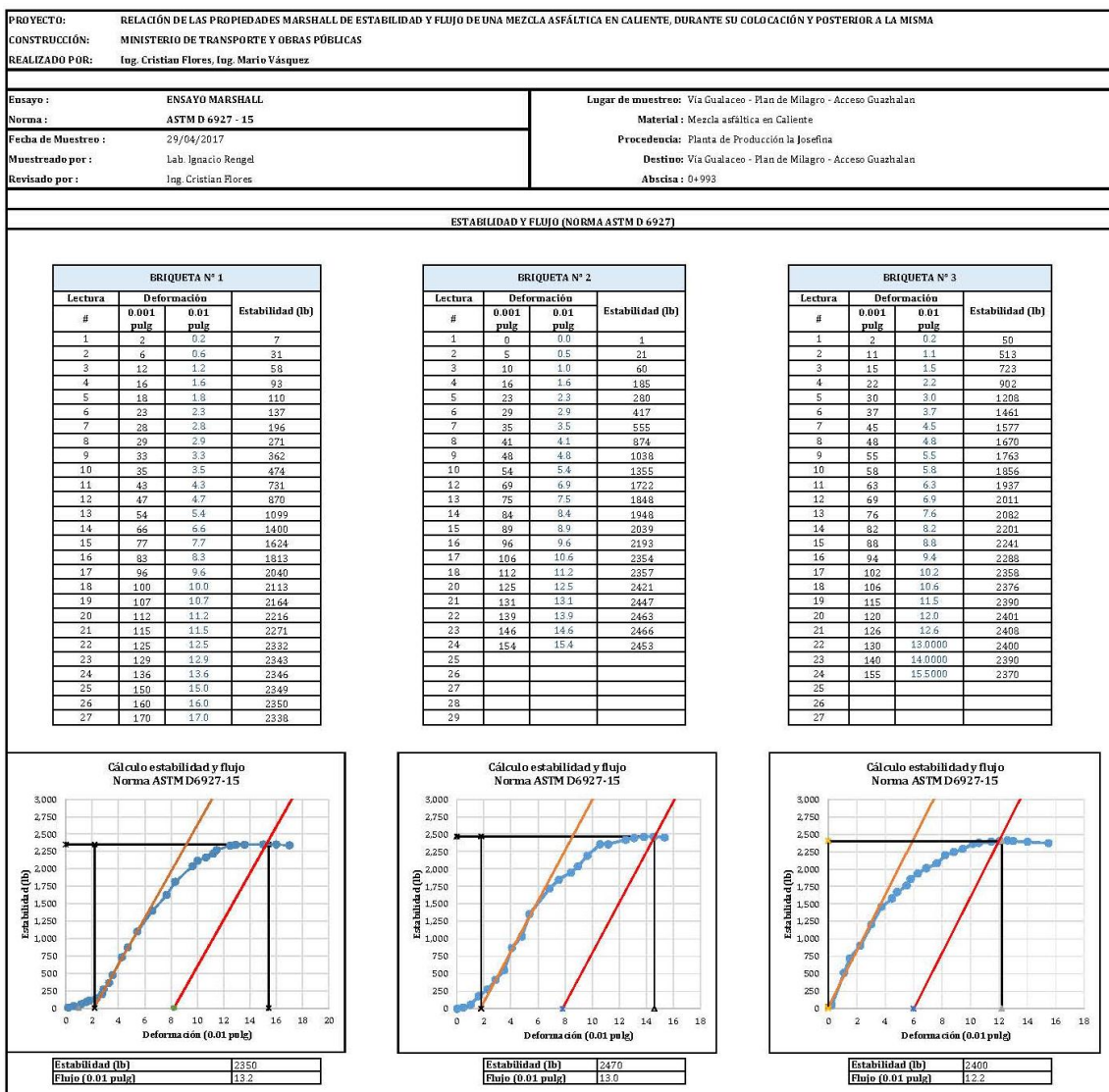


Figura 4-3: Determinación estabilidad – flujo, conforme Norma ASTM D6927-15.

4.3 RESULTADOS DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

La mezcla asfáltica fue supervisada durante su proceso de elaboración y tendido, mediante:

- Control de temperatura en la planta de producción y durante la colocación.
- Control compactación mediante mediciones de densidades de campo con el uso de un densímetro nuclear.
- Determinación de los parámetros exigidos en las especificaciones técnicas MOP-001-F 2002 del MTOP [1].

En virtud del control realizado se puede concluir que tanto el diseño como la elaboración de la mezcla asfáltica para la vía Gualaceo – Limón fueron adecuados, ya que para todas las briquetas se cumple con los parámetros exigidos en las especificaciones técnicas del MTOP.

4.3.1 Control de temperatura

La temperatura durante el mezclado fue verificada en la planta de asfalto que cuenta con sensores y termómetros que mantienen la producción a temperaturas relativamente constantes. El control de temperatura durante la colocación de la mezcla asfáltica fue realizado con el uso de un termómetro adecuado para el efecto (Figura 4-4).

Durante la producción del asfalto la temperatura se mantuvo en un rango entre 157 a 161°C y durante la compactación de 142 a 148°C. Los valores obtenidos se reflejan en la Tabla 4-3.



Figura 4-4: Control de temperatura previo a la compactación.

Abscisa	Costado de la vía	Temperatura (°C)	
		Planta	Compactación
0+241	Izquierdo	160	144
0+420	Derecho	158	147
0+465	Derecho	161	146
0+684	Izquierdo	159	147
0+765	Izquierdo	158	144
0+993	Derecho	157	148
1+080	Derecho	160	147
1+433	Izquierdo	159	143
1+723	Derecho	159	146

Tabla 4-3: Control de temperatura.

4.3.2 Control de compactación

Se llevó a cabo el control de densidad de compactación mediante el uso de un densímetro nuclear, como se observa en la Figura 4-5. Para conseguir resultados adecuados se esperó a que la mezcla se enfríe hasta una temperatura inferior a los 50°C. La densidad a la que debe llegar la compactación en campo es al menos el 97% de la densidad obtenida en las briquetas confeccionadas para el ensayo Marshall.



Figura 4-5: Control de densidad en tendido de asfalto.

Adicionalmente, se comprobó la calidad de la compactación mediante la obtención de la densidad bulk de los núcleos extraídos. Los valores obtenidos y el grado de compactación con relación a la densidad de las briquetas se apuntan en la Tabla 4-4.

Abscisa	Densidad bulk (g/cm ³)				%Compactación (Promedio)		
	Briqueta	Densímetro	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días	Densímetro nuclear	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días
0+241	2.375	2.390	2.364	2.401			
	2.344	2.347	2.364	2.404			
	2.301	2.349	2.372	2.340			
Promedio	2.340	2.362	2.367	2.382	101%	101%	102%
0+420	2.371	2.366	2.388	2.375			
	2.359	2.359	2.393	2.317			
	2.382	2.371	2.389	2.339			
Promedio	2.371	2.365	2.390	2.344	100%	101%	99%
0+465	2.385	2.376	2.342	2.436			
	2.397	2.352	2.347	2.364			
	2.385	2.350	2.348	2.351			
Promedio	2.389	2.359	2.346	2.384	99%	98%	100%



Abscisa	Densidad bulk (g/cm ³)				%Compactación (Promedio)		
	Briqueta	Densímetro	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días	Densímetro nuclear	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días
0+684	2.350	2.373	2.361	2.374			
	2.334	2.369	2.373	2.340			
	2.389	2.379	2.354	2.354			
Promedio	2.358	2.374	2.363	2.356	101%	100%	100%
0+765	2.350	2.361	2.332	2.352			
	2.365	2.361	2.330	2.338			
	2.358	2.349	2.332	2.324			
Promedio	2.358	2.357	2.331	2.338	100%	99%	99%
0+993	2.384	2.376	2.328	2.333			
	2.377	2.358	2.343	2.340			
	2.390	2.376	2.346	2.465			
Promedio	2.384	2.370	2.339	2.379	99%	98%	100%
1+080	2.367	2.362	2.352	2.328			
	2.369	2.392	2.334	2.368			
	2.358	2.376	2.338	2.377			
Promedio	2.365	2.377	2.341	2.358	101%	99%	100%
1+433	2.388	2.382	2.323	2.359			
	2.366	2.360	2.320	2.341			
	2.373	2.391	2.320	2.340			
Promedio	2.376	2.378	2.321	2.347	100%	98%	99%
1+723	2.341	2.361	2.347	2.359			
	2.344	2.386	2.357	2.374			
	2.356	2.385	2.346	2.400			
Promedio	2.347	2.377	2.350	2.378	101%	100%	101%
Especificación MTOP					> 97 %		

Tabla 4-4: Resultados densidades - grado de compactación.

En todos los casos se observa que la compactación realizada en obra es adecuada y por ende la mezcla asfáltica cumple con la especificación del MTOP para este parámetro.

4.3.3 Confección y prueba de briquetas

Se confeccionaron las briquetas en campo, en concordancia a lo requerido para la elaboración del ensayo Marshall (75 golpes en cada cara) cumpliendo con los requerimientos establecidos en la normativa desarrollada en este documento (ver Figura 4-6).



Figura 4-6: Elaboración de briqueta en campo.

Se obtuvieron conjuntos de tres briquetas en cada abscisa para la posterior elaboración de los ensayos Marshall, extracción de asfalto y granulometría, como se ilustra en las Figuras 4-7 a 4-9.



Figura 4-7: Juego de briquetas.



Figura 4-8: Verificación de temperatura de las briquetas para el ensayo Marshall.



Figura 4-9: Ensayo en prensa Marshall.



Un resumen de los resultados obtenidos para todas las briquetas se indica en la Tabla 4-5.

Abscisa	Densidad BULK	RICE	% Vacíos	VAM	VFA	Estabilidad	Flujo	Extracción de asfalto	
								Contenido de betún asfáltico	Relación filler/ betún
0+241	2.375	2.462	4.95	16	68	2381	12.4	6.14	0.9
	2.344					2567	12.0		
	2.301					2448	12.8		
Promedio	2.340					2465	12.4		
0+420	2.371	2.465	3.83	15	74	2540	13.2	6.21	0.9
	2.359					2398	11.2		
	2.382					2507	13.0		
Promedio	2.371					2482	12.5		
0+465	2.385	2.463	3.00	14	78	2300	11.9	5.92	0.8
	2.397					2323	12.8		
	2.385					2228	11.7		
Promedio	2.389					2284	12.1		
0+684	2.350	2.479	4.90	15	68	2616	13.0	6.29	1.0
	2.334					2655	13.0		
	2.389					2640	12.2		
Promedio	2.358					2637	12.7		
0+765	2.350	2.451	3.82	15	75	2416	14.0	5.80	0.8
	2.365					2613	13.8		
	2.358					2483	13.4		
Promedio	2.358					2504	13.7		
0+993	2.384	2.484	4.04	14	71	2256	13.2	6.18	1.1
	2.377					2470	13.0		
	2.390					2304	12.2		
Promedio	2.384					2343	12.8		
1+080	2.367	2.463	3.99	15	73	2465	13.6	6.17	1.1
	2.369					2505	12.4		
	2.358					2630	12.6		
Promedio	2.365					2533	12.9		
1+433	2.388	2.468	3.74	14	74	2652	13.6	6.22	0.9
	2.366					2450	13.2		
	2.373					2660	13.2		
Promedio	2.376					2587	13.3		
1+723	2.341	2.466	4.82	15	69	2194	14.0	5.87	0.8
	2.344					2230	13.0		
	2.356					2278	12.6		
Promedio	2.347					2234	13.2		
Especificación MTOP			[3 - 5]	> 14	[65 - 78]	> 1800	[8 - 14]	[6.1 ± 0.3]	[0.8 - 1.2]

Tabla 4-5: Resumen resultados briquetas.

Los ensayos realizados en las briquetas para el control de calidad de la mezcla asfáltica se muestran en el **Anexo 2**. En todos los casos las propiedades de la mezcla asfáltica son satisfactorias, en cumplimiento de especificaciones y normativas de



control, por lo que se puede concluir que la misma es adecuada, condición indispensable para la elaboración de las siguientes etapas de esta investigación (extracción de núcleos). Por otra parte, los ensayos realizados en núcleos a los 30 y 60 días se encuentran en los **Anexos 3 y 4**, respectivamente.

4.4 METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

Tomando como base que todos los resultados de ensayos en las briquetas son adecuados y cumplen con las especificaciones exigidas por el MTOP, se procedió a realizar los mismos ensayos en los núcleos obtenidos en la primera y segunda campaña de extracción a los 30 y 60 días, respectivamente, para poder realizar la comparación con los resultados de las briquetas (ensayos a los 0 días).

El objetivo fundamental de esta investigación es determinar posibles relaciones para control de calidad en el caso de que no se cuente con briquetas durante la colocación de la mezcla asfáltica, sino que únicamente se pueda realizar extracción de núcleos.

Si bien el ensayo Marshall requiere la elaboración de tres briquetas y la obtención de propiedades para cada una, el control de calidad se realiza con los promedios de las 3 probetas, por ello todas las comparaciones y pruebas estadísticas se realizan con los promedios para el juego de 3 briquetas o 3 núcleos obtenidos en cada abscisa.

La estabilidad y flujo presentan aumentos que a simple vista resultan evidentes, sin embargo, se busca utilizar pruebas estadísticas que permitan inferir los resultados de las muestras tomadas hacia la población total, las cuales se indican en los numerales siguientes.

Para todas las propiedades restantes de la mezcla asfáltica, se observa que los valores se mantienen dentro de los rangos establecidos por las especificaciones técnicas del MTOP sin presentar variaciones significativas.

4.4.1 Boxplot

El Boxplot (diagrama de caja) dentro de la estadística descriptiva es una herramienta que consiste en una representación gráfica de los cuartiles de la población de una muestra, donde se puede apreciar la mediana en el centro de la caja [11]. Se representa indicando en el extremo inferior de la caja el primer cuartil (Q1) o percentil 25 y en el extremo superior el tercer cuartil (Q3) o percentil 75, hacia ambos extremos (superior e inferior) se desprenden dos líneas perpendiculares a la caja denominadas “bigotes” por su equivalente en inglés “whiskers”, éstos se extienden hasta 1.5 veces el rango intercuartil central esto es igual a 1.5 (Q3-Q1). El detalle tipo de un boxplot se grafica en la Figura 4-10.

Son adecuados para observar la simetría de los datos, pues si la media se encuentra al centro del cajón, entonces ésta coincidirá con la mediana y por tanto se tiene una distribución simétrica, adicionalmente si se observan datos fuera de los bigotes se entenderá que éstos son atípicos o “outliers”, mismos que en una búsqueda de tendencias pueden ser eliminados de la serie. Para una comparación de dos o más series se grafican de manera contigua, permitiendo observar con facilidad la tendencia de igualdad, aumento o disminución de las medias.

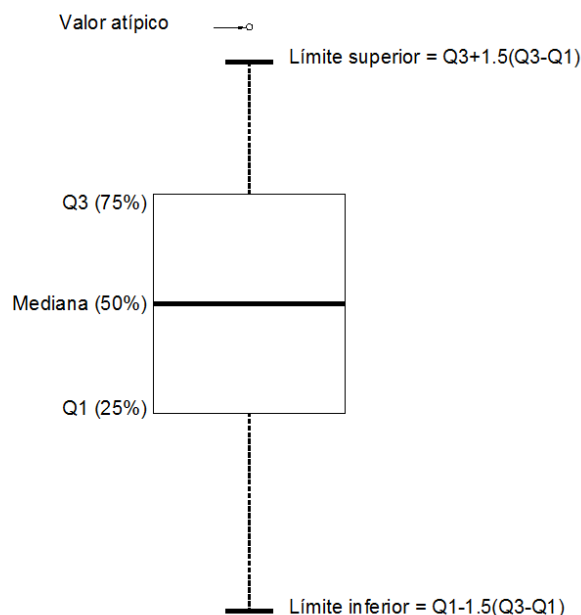


Figura 4-10: Detalle tipo de un boxplot [11].

Se utilizarán boxplots para comparación gráfica de medias entre los parámetros evaluados de la mezcla asfáltica en diferentes edades (0, 30 y 60 días).

4.4.2 Hipótesis nula e hipótesis alternativa

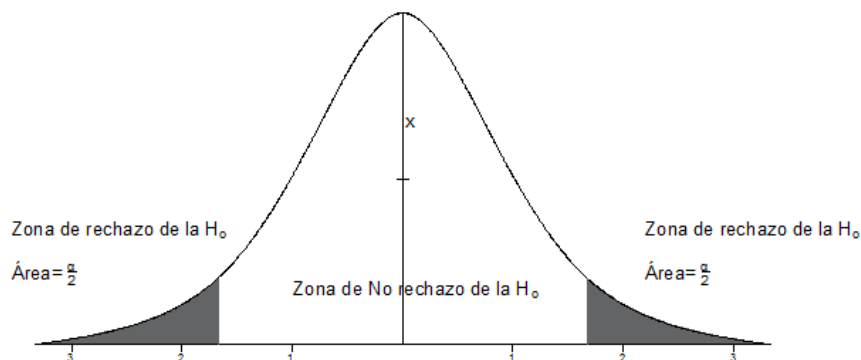
Todo test o prueba estadística plantea una hipótesis que trata de refutar a través de la determinación de un estadístico propio de cada prueba y su p-valor asociado, tal hipótesis se denomina nula (H_0), ésta es mutuamente excluyente con la hipótesis denominada alternativa, por debajo del nivel de confianza (NC) establecido por el investigador se rechazará tal hipótesis y se aceptará la hipótesis alternativa (H_1) [12].

El p-valor es el resultado que arroja un test y/o prueba estadística y se define como el nivel de significación más pequeño que conduce al rechazo de la hipótesis nula, éste debe ser comparado con el valor α , siendo $\alpha = 1 - \text{NC}$, debiéndose conocer si la prueba será de una cola o de dos colas, también llamada unilateral o bilateral [12].

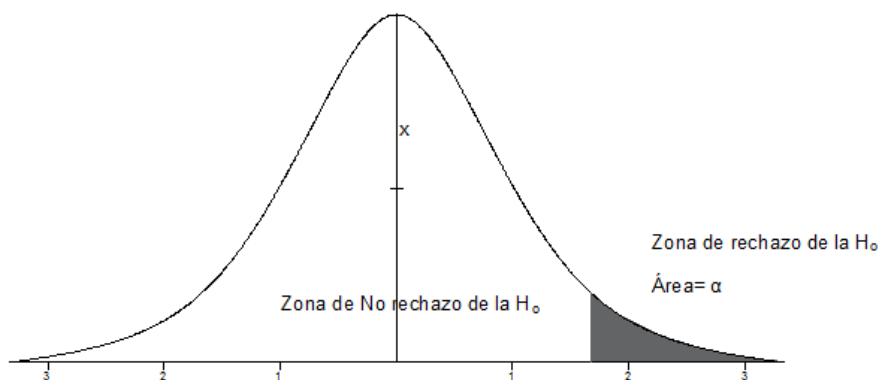
La prueba de dos colas implica que no interesa o se desconoce el signo de la diferencia de las medias, sino que únicamente interesa conocer si la media de un grupo de datos es diferente a la de otro grupo de datos, mientras que para la prueba de una cola el investigador asume el sentido de la diferencia que desea demostrar es decir que la media de un grupo de datos es mayor o menor que la de otro grupo de datos, como se observa en la Figura 4-11.

Si se tiene la unidad como valor del área bajo la curva de una distribución normal estándar, el investigador asume su nivel de confianza esperado, como se puede apreciar gráficamente en la Figura 4-11, para una prueba de dos colas el valor con el que se debe comparar el p-valor es $\alpha/2$ mientras que para una cola será simplemente α , reiterando $\alpha = 1 - \text{NC}$. Como resultado final de un test o prueba estadística si el p-valor es menor que α o $\alpha/2$ según corresponda, se rechaza la hipótesis nula y por tanto se aceptará la hipótesis alternativa, mientras que siendo mayor se acepta la hipótesis nula.

1) Prueba Bilateral a dos colas $H_0: \mu = X; H_1: \mu \neq X$



2) Prueba Unilateral con cola hacia la derecha $H_0: \mu \leq X; H_1: \mu > X$



3) Prueba Unilateral con cola hacia la izquierda $H_0: \mu \geq X; H_1: \mu < X$

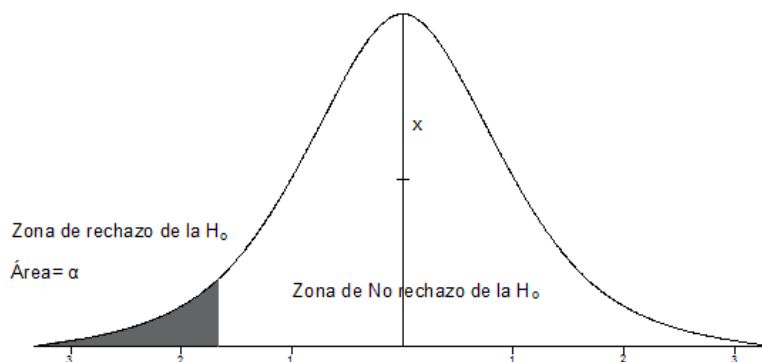


Figura 4-11: Región de rechazo para Hipótesis Nula en pruebas de una y dos colas [12].

4.4.3 Test de Shapiro-Wilk

El test de Shapiro-Wilk se utiliza para establecer la normalidad de un conjunto de datos provenientes de una muestra [11], donde el estadístico del test (W) se establece con la Ecuación 4-1.

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Ecuación 4-1}$$



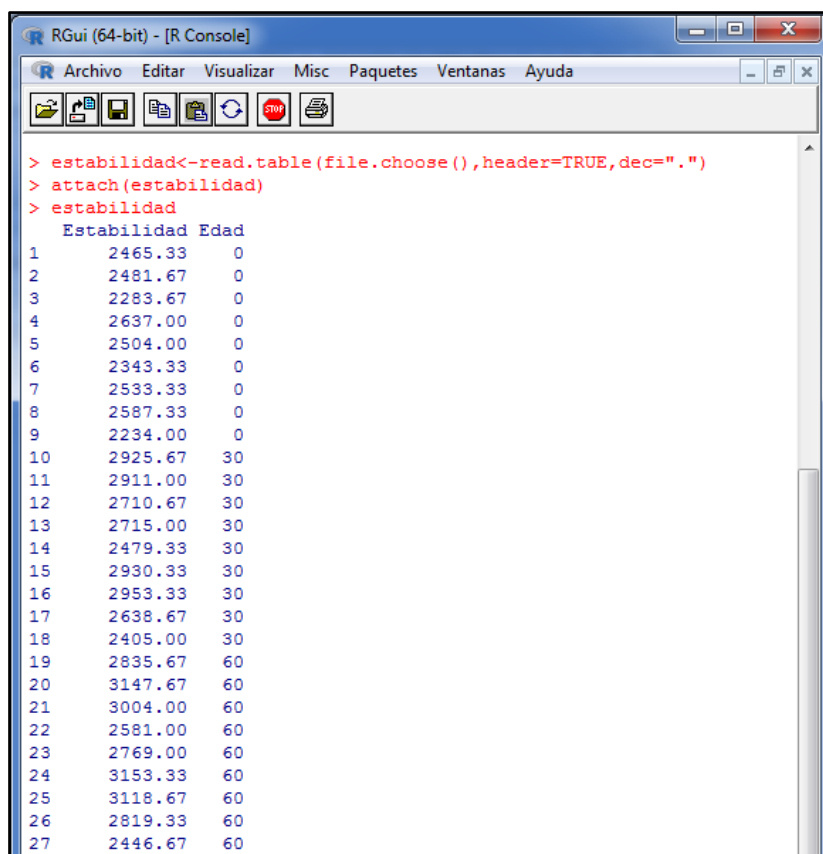
donde:

- a_i = son valores calculados mediante comparación con variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas, muestreadas de distribuciones normales
- $x(i)$ = número que ocupa la i -ésima posición en la muestra
- x_i = cada uno de los datos de la muestra
- $\bar{x}$ = media muestral
- n = número de datos de la serie

El test toma como hipótesis nula que la población se halla normalmente distribuida, por lo tanto, si el p-valor es menor al valor α escogido, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos no provienen de una distribución normal, mientras que en el caso contrario de que el p-valor sea mayor se acepta la hipótesis nula y se concluye que los datos provienen de una distribución normal.

Este proceso se realiza directamente en el programa estadístico de acceso libre R [13], pudiendo contrastar la normalidad de varios grupos de datos que se encuentren en una matriz de n filas por 2 columnas, conteniendo la primera columna los datos de los que se quiere comprobar la normalidad y la segunda columna el criterio por el que se los agrupa. En el presente trabajo la primera columna estará conformada por los valores de estabilidad, flujo o porcentaje de vacíos, mientras que la segunda columna será la edad de la muestra 0, 30 y 60 días. Se escoge un nivel de confianza (NC) del 95%, esto implica que se deberá probar el p-valor de la prueba contra un valor de $\alpha = 1 - \text{NC} = 0.05$.

Se prepara para ello un archivo de texto conteniendo la información requerida y se ingresa en el programa R, como se ilustra en la Figura 4-12 para los datos de estabilidad.

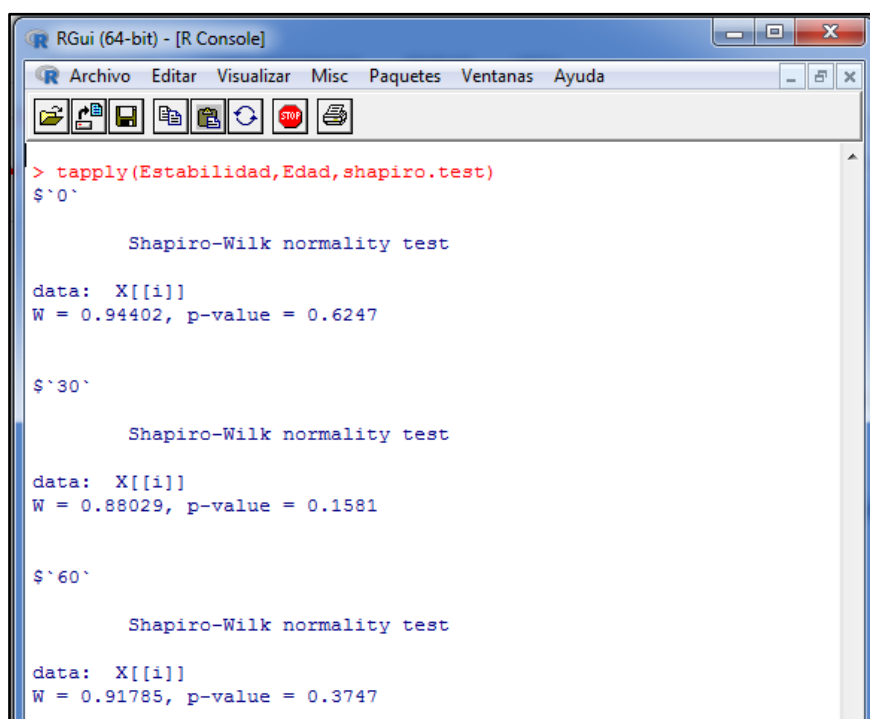


```
> estabilidad<-read.table(file.choose(),header=TRUE,dec=".")
> attach(estabilidad)
> estabilidad
```

	Estabilidad	Edad
1	2465.33	0
2	2481.67	0
3	2283.67	0
4	2637.00	0
5	2504.00	0
6	2343.33	0
7	2533.33	0
8	2587.33	0
9	2234.00	0
10	2925.67	30
11	2911.00	30
12	2710.67	30
13	2715.00	30
14	2479.33	30
15	2930.33	30
16	2953.33	30
17	2638.67	30
18	2405.00	30
19	2835.67	60
20	3147.67	60
21	3004.00	60
22	2581.00	60
23	2769.00	60
24	3153.33	60
25	3118.67	60
26	2819.33	60
27	2446.67	60

Figura 4-12: Carga de datos estabilidad en el programa R.

Seguido se ejecuta el test de Shapiro-Wilk para los datos ingresados, como se aprecia en la Figura 4-13.



```
> tapply(Estabilidad,Edad,shapiro.test)
$`0`

      Shapiro-Wilk normality test

data:  X[[i]]
W = 0.94402, p-value = 0.6247

$`30`

      Shapiro-Wilk normality test

data:  X[[i]]
W = 0.88029, p-value = 0.1581

$`60`

      Shapiro-Wilk normality test

data:  X[[i]]
W = 0.91785, p-value = 0.3747
```

Figura 4-13: Test de Shapiro-Wilk para datos estabilidad.

Se observa que para todas las series de datos los valores p son mayores que el requerido para un nivel de confianza del 95% ($p\text{-valor} > 0.05$) por lo que se acepta la normalidad de éstas.

4.4.4 Prueba T de Student

Para un conjunto pequeño de datos (inferior a 30) se recomienda realizar una prueba T de Student para determinar relaciones entre medias de dos poblaciones [12], esta prueba es aplicable siempre que los datos de la población sigan una distribución normal (aspecto comprobado con el test de Shapiro-Wilk).

La prueba presenta diferentes variaciones, según se asuma que es pareada o no y, que las varianzas son desconocidas e iguales, o desconocidas y diferentes.

En el presente trabajo se considerarán muestras pareadas puesto que existe dependencia entre ellas (los ensayos son realizados en juegos de 3 testigos en sitios establecidos), mientras que las varianzas se consideran desconocidas y diferentes, pues no se cuenta con datos referenciales que indiquen lo contrario.

Para la combinación indicada de la prueba T de Student el estadístico “ t ” tiene la expresión indicada en la Ecuación 4-2.

$$t = \frac{\bar{D} - u_D}{S_D / \sqrt{n}} \quad \text{Ecuación 4-2}$$

donde:

$\bar{D}$ = media de las diferencias de pares
 u_D = diferencia de medias
 S_D = desviación muestral de la diferencia de pares
 n = número de pares

El programa R permite realizar la prueba T de Student con todas las combinaciones posibles entre muestras pareadas o no, con varianzas iguales o diferentes, para ello se debe cargar un archivo de texto de n filas con dos columnas, la primera columna contendrá los datos de estabilidad, flujo o porcentaje de vacíos, mientras que la segunda el criterio por el que se agruparán los valores. Para la prueba T de Student el programa permite únicamente dos criterios de agrupación para poder realizar la comparación de medias, es así que se realizarán las pruebas para estabilidad y flujo entre 0 y 30 días, así como entre 30 y 60 días.

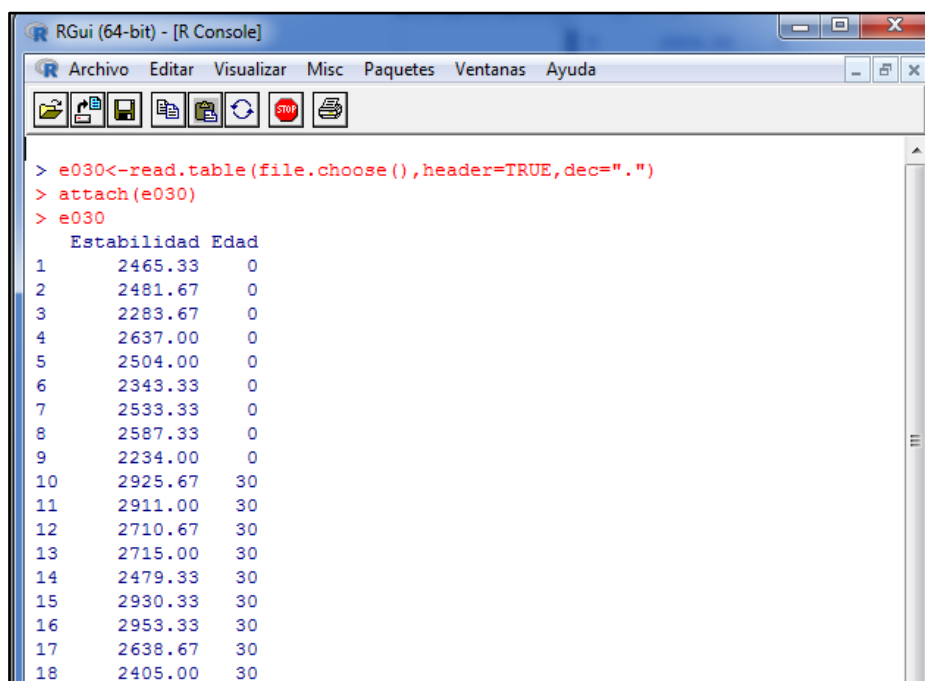
Adicionalmente, R permite considerar tres hipótesis alternativas para la prueba T de Student:

- “two.sided”: hipótesis alternativa de que entre las medias existe una diferencia no igual a 0 siendo por tanto la hipótesis nula que las medias de las muestras son iguales.
- “less”: hipótesis alternativa de que la media del primer grupo es menor que la del segundo siendo la hipótesis nula que la media del primer grupo de datos es mayor o igual que la del segundo grupo

- “greater”: hipótesis alternativa de que la media del primer grupo es mayor que la del segundo siendo la hipótesis nula que la media del primer grupo de datos es menor o igual que la del segundo grupo

Como ejemplo, a continuación, se desarrolla en el programa R la comparación de medias de la estabilidad entre 0 y 30 días, para lo cual, en primera instancia se ingresan los datos como se refleja en la Figura 4-14. Luego según la Figura 4-15 se procede a realizar la prueba T de Student, colocando como hipótesis alternativa que la media del primer grupo es menor que la media del segundo grupo (`alternative= “less”`), que las varianzas son diferentes (`var.equal=FALSE`) y se trata de una muestra pareada (`paired=TRUE`). El nivel de confianza requerido es el mismo que para el test de Shapiro-Wilk, es decir del 95%, lo que conlleva a que el valor de α es 0.05.

Del resultado obtenido se observa que el valor de p es igual a 0.0022 menor al valor α , por tanto se concluye que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa concluyendo que la media del primer grupo de datos (Estabilidad 0 días) es menor que la media del segundo grupo de datos (Estabilidad 30 días).



```
> e030<-read.table(file.choose(),header=TRUE,dec=".")
> attach(e030)
> e030
```

	Estabilidad	Edad
1	2465.33	0
2	2481.67	0
3	2283.67	0
4	2637.00	0
5	2504.00	0
6	2343.33	0
7	2533.33	0
8	2587.33	0
9	2234.00	0
10	2925.67	30
11	2911.00	30
12	2710.67	30
13	2715.00	30
14	2479.33	30
15	2930.33	30
16	2953.33	30
17	2638.67	30
18	2405.00	30

Figura 4-14: Datos para prueba T de Student entre estabilidad 0 y 30 días.

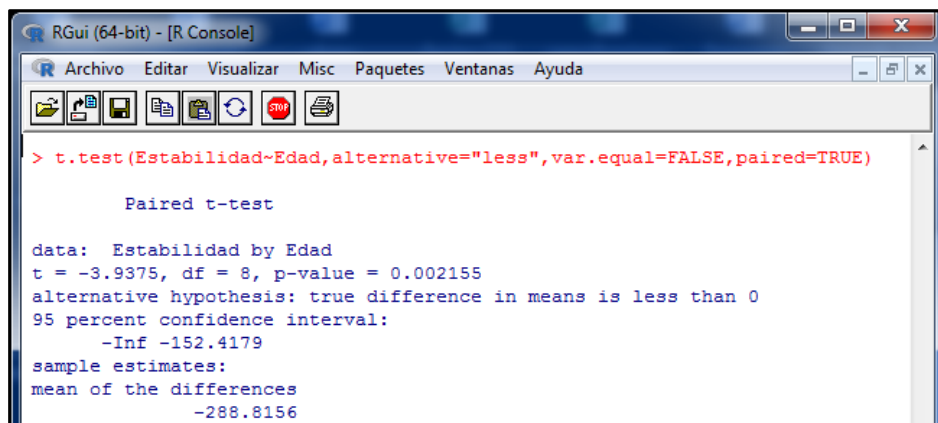


Figura 4-15: Resultados prueba T de Student entre estabilidad 0 y 30 días.

4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS EN NÚCLEOS

Como se indicó, se realizaron dos campañas de extracción de núcleos a los 30 y 60 días posteriores a la colocación de la mezcla asfáltica. En la Figura 4-16 se observa el proceso de extracción de éstos, mientras que en la Figura 4-17 se muestran los núcleos obtenidos mismos que debieron ser perfilados para realizar el ensayo Marshall. El diámetro del núcleo es igual al de la briqueta, es decir de 4", sin embargo, se recalca que para la determinación de la estabilidad se utilizaron los factores de corrección respectivos, los mismos que están en función de la altura o volumen de cada núcleo.



Figura 4-16: Extracción de núcleos.



Figura 4-17: Núcleos para ensayo Marshall.

De los resultados obtenidos, las propiedades de la mezcla asfáltica a comparar entre briquetas y núcleos son:

1. Densidad Bulk
2. Densidad máxima teórica o RICE
3. Granulometría
4. Porcentaje de vacíos
5. Vacíos en el agregado mineral (VAM)
6. Vacíos rellenos de asfalto (VFA)
7. Contenido de betún asfáltico
8. Relación filler/betún
9. Estabilidad
10. Flujo

Para la granulometría se realizó una comparación gráfica entre todos los ensayos realizados para cada abscisa, puesto que el mismo se realizó para todos los ejemplares tanto de briquetas como núcleos.

Para las propiedades: densidad Bulk, VAM, VFA, contenido de betún asfáltico y relación filler/betún se comparan gráficamente los valores para analizar el cumplimiento de normativa.

Para la densidad RICE, a los 30 y 60 días se extrajeron 3 muestras de bloques de 30x30 cm, y se compara numéricamente los resultados promedio con el promedio de las briquetas.

Para las propiedades de porcentaje de vacíos, estabilidad y flujo, se procede de la siguiente manera:

- a) Se realiza un boxplot para cada propiedad a los 0, 30 y 60 días con la finalidad de observar la tendencia de las medias.
- b) Se comprueba la normalidad de los resultados obtenidos para 0, 30 y 60 días, aplicando el test de Shapiro - Wilk, para ello se asume un nivel de confianza del 95%, para estabilidad y flujo al tratarse de una prueba de una sola cola se considerará $\alpha = 0.05$.
- c) Para la estabilidad y flujo se plantea pruebas de hipótesis para demostrar estadísticamente la diferencia de las medias, esto es que aumentan con el



tiempo, mediante la prueba T de Student para varianzas diferentes y muestras pareadas. Las pruebas de hipótesis se realizan entre 0-30 días, y 30-60 días. El nivel de confianza es el mismo del test de Shapiro - Wilk.

- d) Para el porcentaje de vacíos se plantea pruebas de hipótesis para demostrar estadísticamente que la diferencia de las medias no es significativa, mediante la prueba T de Student para varianzas diferentes y muestras pareadas. Las pruebas de hipótesis se realizan entre 0-30 días, 30-60 días y 0-60 días. El nivel de confianza es el mismo del test de Shapiro - Wilk.

4.5.1 Densidad BULK

Para el control de calidad de la mezcla asfáltica se comprobó la compactación de la mezcla utilizando para ello las densidades bulk obtenidas en los núcleos de 30 y 60 días, comparándolos con la densidad de las briquetas. Los resultados obtenidos se indican en la Tabla 4-6.

Abscisa	Briqueta	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días
0+241	2.340	2.367	2.382
0+420	2.371	2.390	2.344
0+465	2.389	2.346	2.384
0+684	2.358	2.363	2.356
0+765	2.358	2.331	2.338
0+993	2.384	2.339	2.379
1+080	2.365	2.341	2.358
1+433	2.376	2.321	2.347
1+723	2.347	2.350	2.378
Promedio	2.365	2.350	2.363

Tabla 4-6: Resultados densidad Bulk.

El boxplot trazado se refleja en la Figura 4-18.

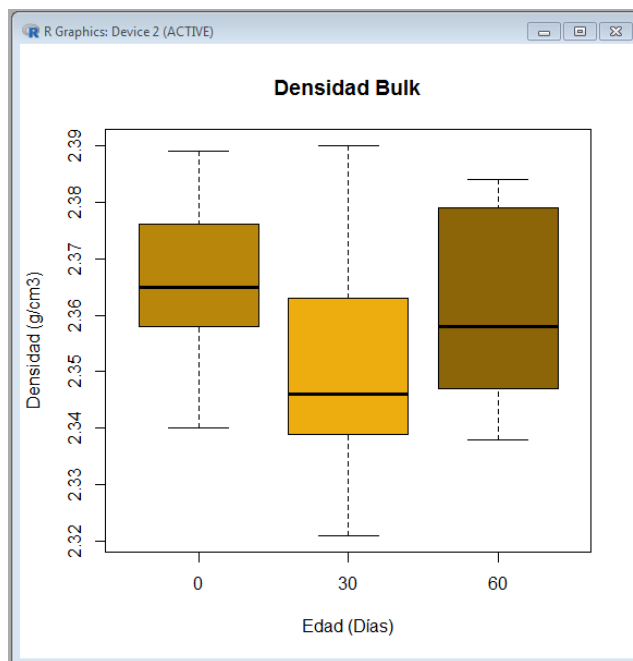


Figura 4-18: Boxplot densidad Bulk.

Se observa que la tendencia de las series es mantener su valor medio, pues si bien se presenta una variación ésta es muy pequeña. Además, se grafican en la Figura 4-19 los valores de densidad bulk para las briquetas y núcleos a 30 y 60 días, donde se puede apreciar que las diferencias no son significativas.

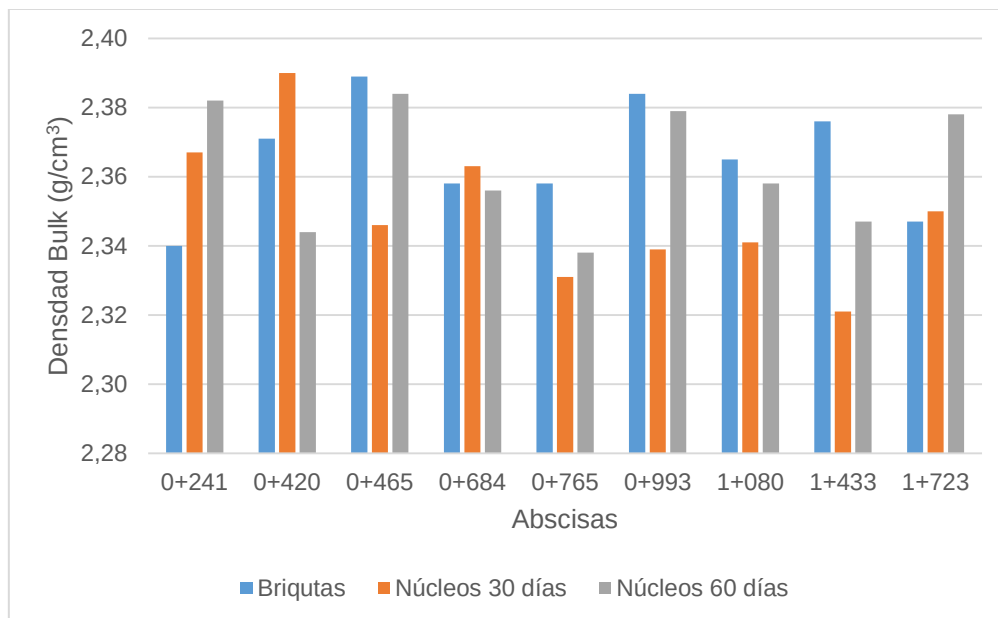


Figura 4-19: Resultados densidad Bulk.

4.5.2 Densidad máxima teórica o RICE

Siendo el valor de la densidad máxima específica RICE básico para determinar los porcentajes de vacíos se tomaron 3 bloques de 30 x 30 cm en cada campaña, en zonas aledañas a los sitios de extracción de núcleos. Los bloques se obtuvieron con el

uso de herramienta menor con la finalidad de disponer de una muestra más grande que un núcleo y evitar alteraciones en el resultado de este ensayo por el corte que realiza la extractora de núcleos.

El valor promedio del peso específico RICE encontrado en las briquetas es de 2.467 g/cm³, mientras que el determinado para los bloques es de 2.461 g/cm³ y 2.469 g/cm³ en la primera (30 días) y segunda campaña (60 días) de extracción de núcleos, respectivamente, (Tabla 4-7).

Bloque	RICE (g/cm ³)	
	30 días	60 días
1	2.458	2.482
2	2.473	2.455
3	2.451	2.471
Promedio	2.461	2.469

Tabla 4-7: Densidad máxima teórica o RICE determinado en bloques.

Se observa que hasta 60 días luego de colocada la mezcla asfáltica no existe diferencia significativa en el peso específico RICE con relación al obtenido durante el tendido de la misma. La variación entre los resultados no es mayor al 1%, por lo que, se consideró adecuado realizar los cálculos en función de los valores obtenidos con las briquetas.

4.5.3 Granulometría

Se ha verificado para todos los núcleos extraídos que la granulometría combinada permanece dentro de la faja de trabajo del diseño de la mezcla. Como ejemplo, las tres granulometrías para la abscisa 0+993, para las briquetas, núcleos a los 30 días y núcleos a los 60 días, se aprecian en las Figuras 4-20, 4-21 y 4-22, respectivamente.

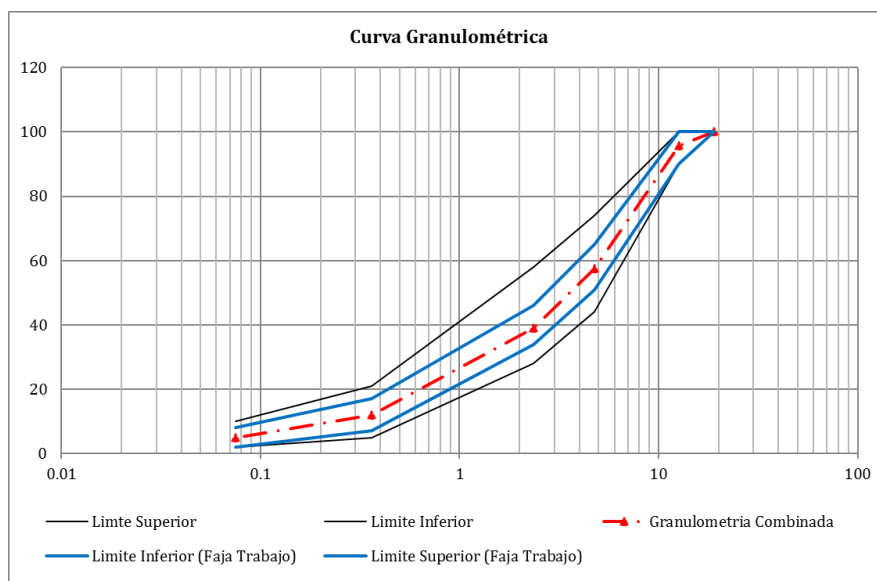


Figura 4-20: Granulometría briketa abscisa 0+993.

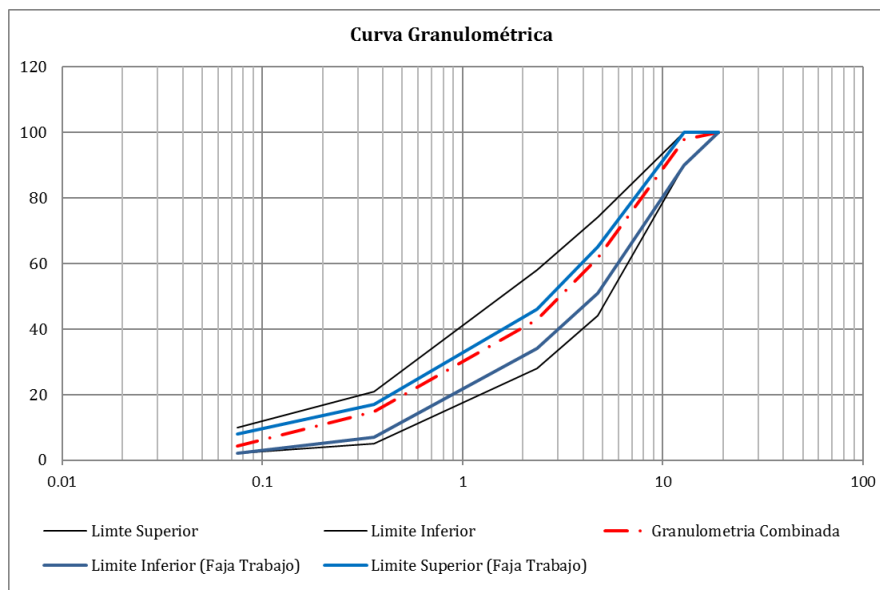


Figura 4-21: Granulometría núcleo a los 30 días abscisa 0+993.

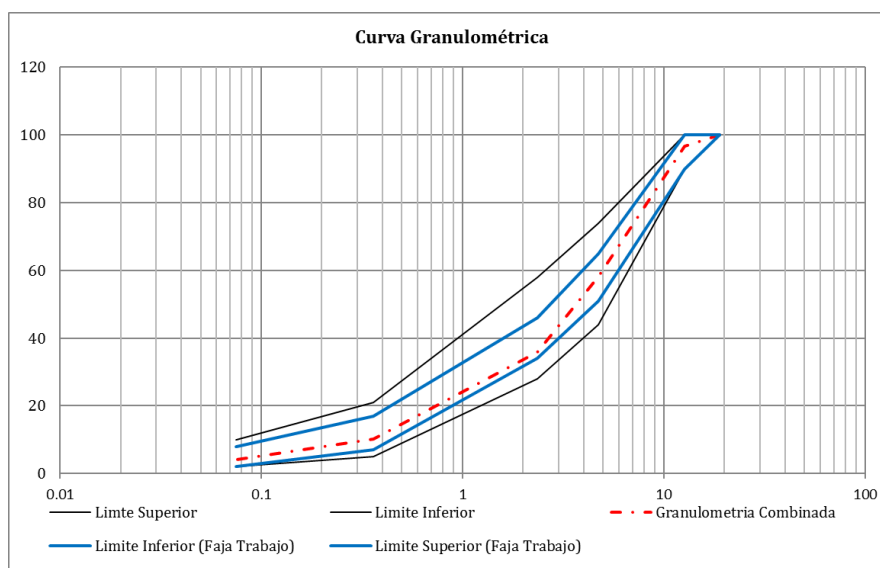


Figura 4-22: Granulometría núcleo a los 60 días abscisa 0+993.

Se observa que, pese al corte de los agregados gruesos con la broca de extracción de núcleos, no se ha afectado en mayor medida el tamaño de los agregados, pues si bien en ciertas curvas granulométricas existen puntos que se aproximan a los límites admisibles de la faja de trabajo, para todos los núcleos a 30 y 60 días la curva se encuentra dentro de ésta, concluyendo así que el cumplimiento de este parámetro puede ser verificado mediante la extracción de núcleos.

4.5.4 Porcentaje de vacíos

Los resultados del cálculo de porcentaje de vacíos obtenidos se muestran en la Tabla 4-8 tanto para las briquetas como para los núcleos.

Abscisa	% Vacíos		
	Briqueta	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días
0+241	4.95	3.87	3.26
0+420	3.83	3.05	4.93
0+465	3.00	4.76	3.22
0+684	4.90	4.70	4.95
0+765	3.82	4.88	4.60
0+993	4.04	5.84	4.22
1+080	3.99	4.94	4.27
1+433	3.74	5.97	4.92
1+723	4.82	4.70	3.59
Promedio	4.12	4.75	4.22
Especificación MTOP	[3 - 5]		

Tabla 4-8: Porcentaje de vacíos.

La Figura 4-23 muestra un boxplot para los datos obtenidos, mientras que la Figura 4-24 muestra una representación gráfica para comparación en cada abscisa.

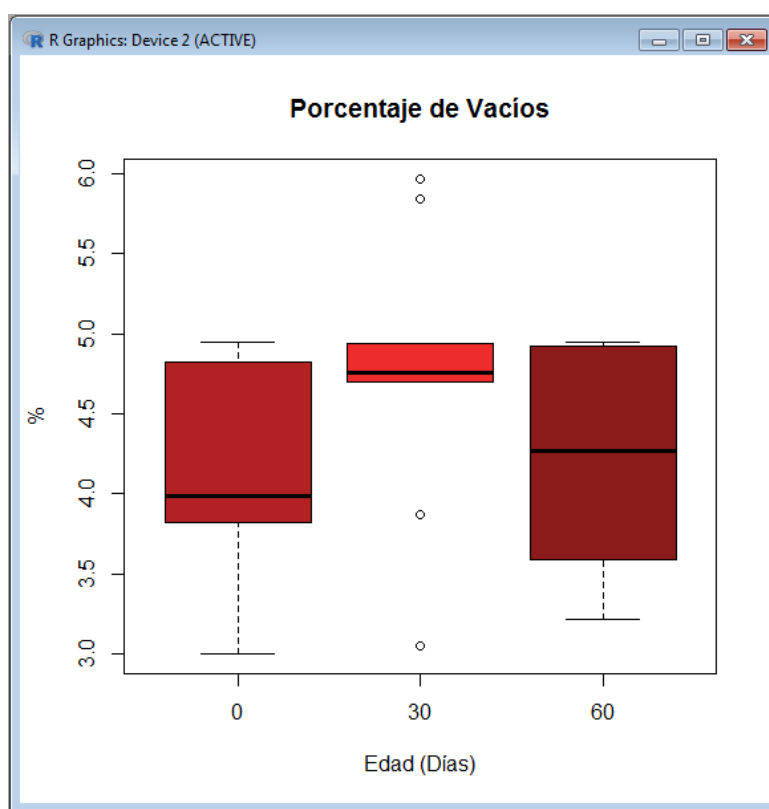


Figura 4-23: Boxplot porcentaje de vacíos.

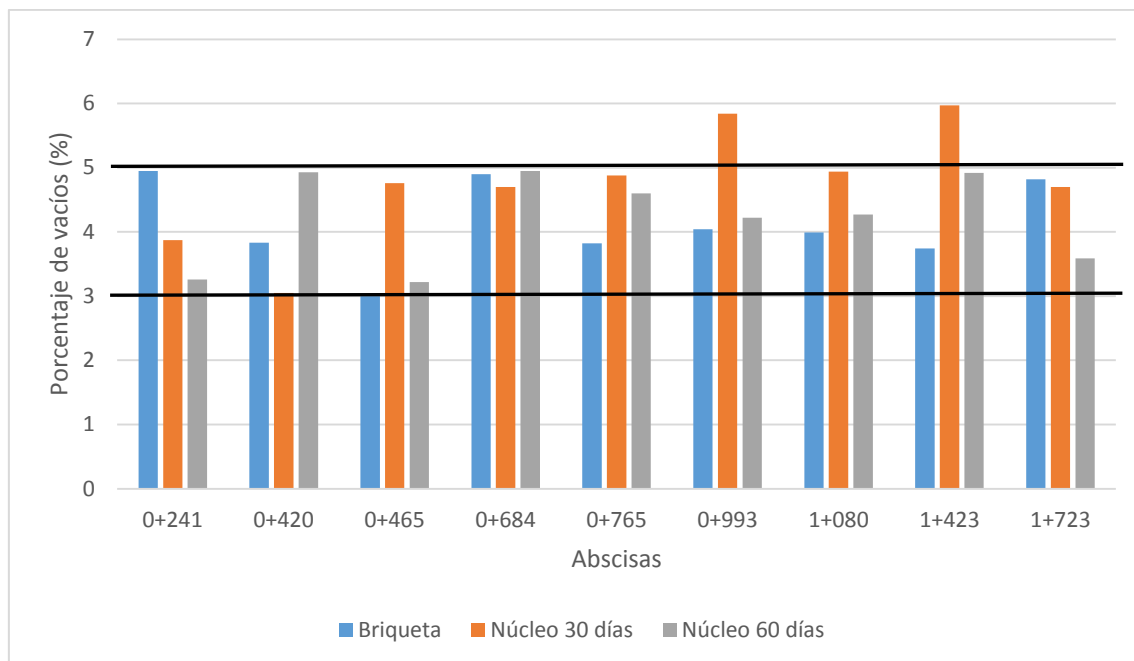


Figura 4-24: Resultados porcentaje de vacíos.

Se observa que en el boxplot para los núcleos a 30 días hay la presencia de valores atípicos (outliers), sin embargo, esto no es representativo para la comparación buscada por lo que no se omiten estos valores.

Además, se aprecia que los valores de los núcleos a los 30 días para las abscisas 0+993 y 1+423 son los únicos que exceden la normativa (3-5%), aunque la densidad de campo es adecuada (>97% de la densidad de laboratorio) y para esas mismas abscisas en los núcleos a 60 días se mantiene dentro del rango adecuado. Los restantes valores se ubican dentro de la franja que indica la especificación.

Es pertinente, sin embargo, indicar que acorde a literatura técnica, el porcentaje de vacíos teórico para mezclas asfálticas puede encontrarse entre 2 y 6% [8], por lo que puede considerarse aceptable.

A continuación, se busca demostrar que las diferencias de medias no son estadísticamente significativas por lo que no puede descartarse su igualdad, considerando que de este parámetro parten los cálculos para VAM y VFA, por analogía el comportamiento de estas series de datos será el mismo.

Se analiza la normalidad de los datos mediante el test de Shapiro-Wilk, encontrándose que todas las series de datos pueden considerarse como una distribución normal (valor $p > 0.05$) como se muestra en la Tabla 4-9.

Serie	Valor p
Briquetas	0.236
Núcleos 30 días	0.369
Núcleos 60 días	0.112

Tabla 4-9: Resultados test de Shapiro-Wilk para datos de porcentaje de vacíos.

Acorde a los resultados del test de Shapiro-Wilk se acepta la normalidad para las series de datos, por lo que es factible la aplicación de una prueba T de Student para

muestras pareadas con varianzas diferentes entre las medias de vacíos de las briquetas y los núcleos a 30 y 60 días, así como entre los núcleos a 30 y 60 días. Las hipótesis nulas y alternativas se describen en la Tabla 4-10, los resultados de la prueba T de Student se indican en la Tabla 4-11.

Grupo 1	Grupo 2	Hipótesis nula (H ₀)	Hipótesis alternativa (H ₁)
% de vacíos briquetas media = x_1	% de vacíos núcleos 30 días media = x_2	Media del primer grupo es igual a la del segundo grupo $x_1 = x_2$	Media del primer grupo es diferente a la del segundo grupo $x_1 \neq x_2$
% de vacíos núcleos 30 días media = x_1	% de vacíos núcleos 60 días media = x_2	Media del primer grupo es igual a la del segundo grupo $x_1 = x_2$	Media del primer grupo es menor a la del segundo grupo $x_1 \neq x_2$
% de vacíos briquetas media = x_1	% de vacíos núcleos 60 días media = x_2	Media del primer grupo es igual a la del segundo grupo $x_1 = x_2$	Media del primer grupo es menor a la del segundo grupo $x_1 \neq x_2$

Tabla 4-10: Hipótesis nulas y alternativas para comparación de medias de % de vacíos.

Grupo 1	Grupo 2	Estadístico t	Valor p
% de vacíos briquetas	% de vacíos núcleos 30 días	-1.552	0.159
% de vacíos núcleos 30 días	% de vacíos núcleos 60 días	1.467	0.181
% de vacíos briquetas	% de vacíos núcleos 60 días	-0.296	0.775

Tabla 4-11: Resultados T de Student para datos de porcentaje de vacíos.

En los tres casos planteados se observa que se no se puede rechazar la hipótesis nula ($p > 0.025$), por lo que se determina que no se puede descartar la igualdad entre las medias entre 0 y 30 días, 30 y 60 días ni entre 0 y 60 días. Los cálculos en R se muestran en el **Anexo 5**.

Se concluye entonces que el porcentaje de vacíos se encuentra dentro del rango especificado en la normativa, y que estadísticamente no se puede demostrar una diferencia significativa entre las medias, de manera que este parámetro de control puede verificarse mediante la extracción de núcleos, sin que existan variaciones significativas en relación con las briquetas, siempre y cuando los porcentajes de compactación sean los adecuados.

4.5.5 Vacíos en el agregado mineral (VAM)

Los resultados obtenidos se pueden ver en la Tabla 4-12 y en la Figura 4-25 tanto para las briquetas como para los núcleos.

Abscisa	VAM		
	Briqueta	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días
0+241	16.00	14.00	14.00
0+420	15.00	14.00	15.00
0+465	14.00	15.00	14.00
0+684	15.00	15.00	15.00
0+765	15.00	16.00	15.00
0+993	14.00	16.00	14.00
1+080	15.00	15.00	15.00
1+433	14.00	16.00	15.00
1+723	15.00	15.00	14.00
Promedio	14.78	15.11	14.56

Abscisa	VAM		
	Briqueta	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días
Especificación MTOP	> 14		

Tabla 4-12: Vacíos en el agregado mineral (VAM).

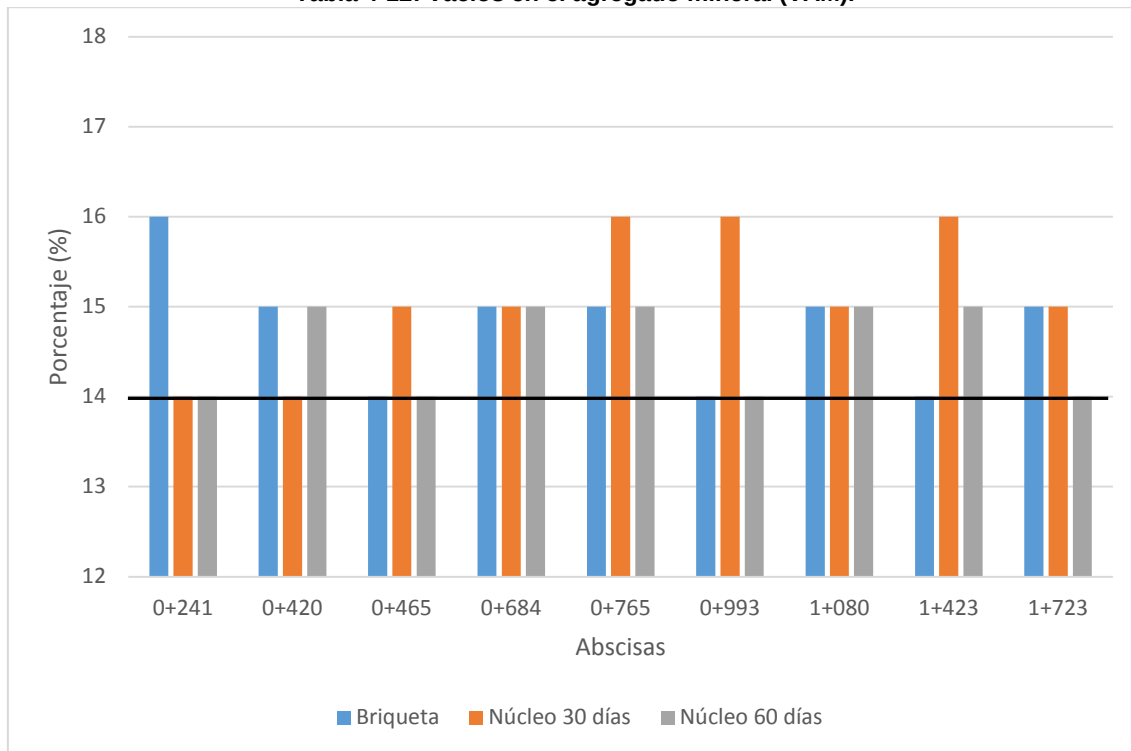


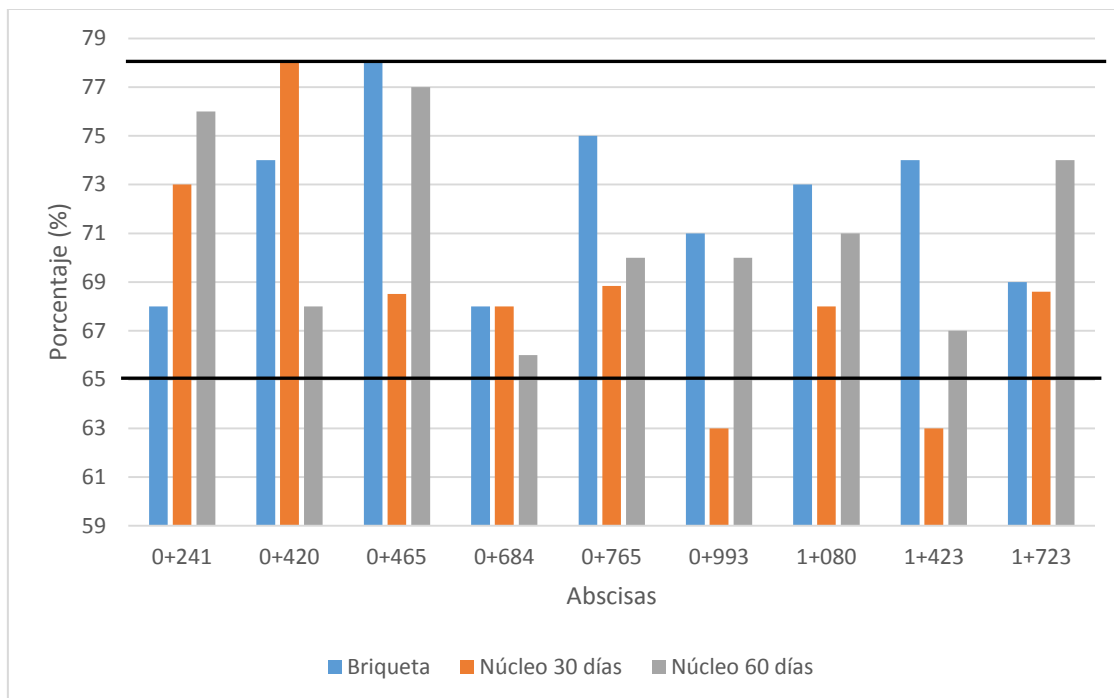
Figura 4-25: Resultados vacíos en el agregado mineral (VAM).

Se observa que ningún valor se halla por debajo de normativa (> 14) y los incrementos no son significativos tampoco, por ende, se concluye que este parámetro de control puede verificarse mediante la extracción de núcleos, sin que existan variaciones significativas en relación con las briquetas y el paso del tiempo.

4.5.6 Vacíos rellenos de asfalto (VFA)

Los valores de los porcentajes de vacíos rellenos de asfalto, obtenidos tanto en las briquetas como en los núcleos extraídos a los 30 y 60 días, se aprecian en la Tabla 4-13 y en la Figura 4-26.

Abscisa	VFA		
	Briqueta	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días
0+241	68.00	73.00	76.00
0+420	74.00	78.00	68.00
0+465	78.00	68.52	77.00
0+684	68.00	68.00	66.00
0+765	75.00	68.84	70.00
0+993	71.00	63.00	70.00
1+080	73.00	68.00	71.00
1+433	74.00	63.00	67.00
1+723	69.00	68.60	74.00
Promedio	72.22	68.77	71.00
Especificación MTOP	[65 - 78]		

Tabla 4-13: Vacíos rellenos de asfalto (VFA).

Figura 4-26: Resultados vacíos rellenos de asfalto (VFA).

Se observa que los valores de los núcleos a los 30 días para las abscisas 0+993 y 1+423 son los únicos que están por debajo del rango indicado en la especificación (65 – 78), y son justamente esos dos puntos en los que el porcentaje de vacíos excede la normativa; esto se explica debido a que el cálculo de este parámetro depende tanto de la densidad RICE como del porcentaje de vacíos. Por otra parte, de manera análoga a la situación para el porcentaje de vacíos, en las mismas abscisas en los núcleos a 60 días el VFA se mantiene dentro del rango especificado. Todos los valores restantes se ubican dentro de la franja que indica la especificación, por lo tanto, se concluye que este parámetro de control puede verificarse mediante la extracción de núcleos, sin que existan variaciones significativas en relación con las briquetas y el tiempo.

4.5.7 Contenido de betún asfáltico

En la Tabla 4-14 y en la Figura 4-27 se presentan los resultados del contenido de betún asfáltico, tanto para las briquetas como para los núcleos.

Abscisa	Contenido de betún asfáltico		
	Briqueta	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días
0+241	6.14	5.89	6.08
0+420	6.21	6.07	6.18
0+465	5.92	5.90	5.90
0+684	6.29	6.12	6.18
0+765	5.80	5.81	6.16
0+993	6.18	6.11	6.16
1+080	6.17	5.82	6.28
1+433	6.22	6.05	6.00
1+723	5.87	5.94	5.91
Promedio	6.09	5.97	6.09

Abscisa	Contenido de betún asfáltico		
	Briqueta	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días
Especificación MTOP	[6.1 ± 0.3]		

Tabla 4-14: Contenido de betún asfáltico.

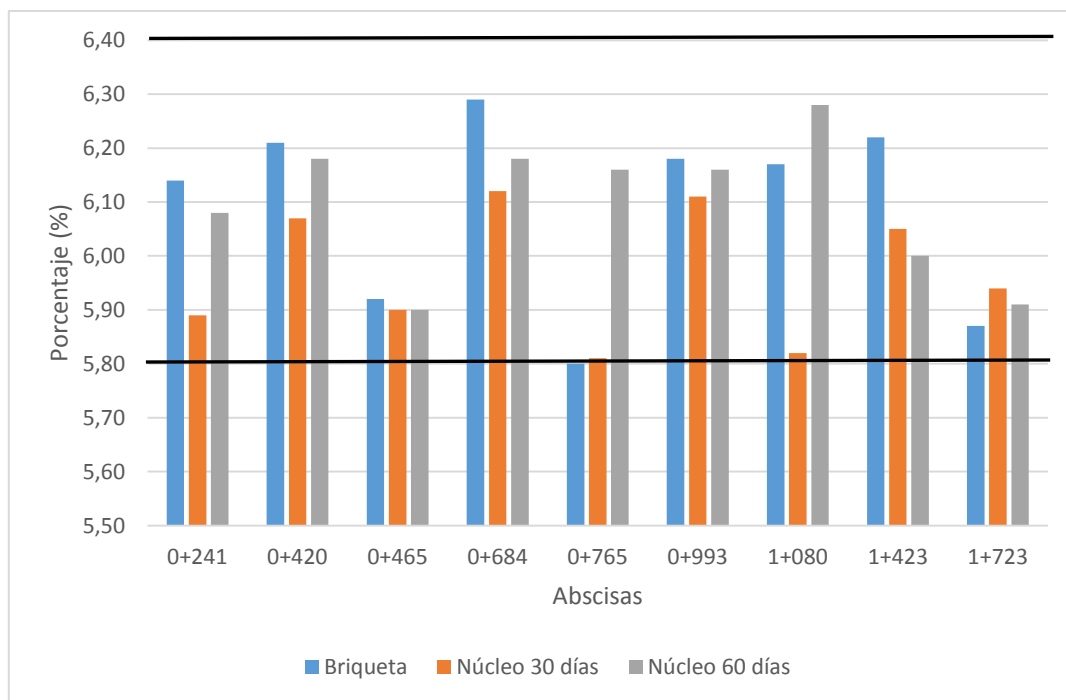


Figura 4-27: Resultados contenido de betún asfáltico.

Se aprecia que todos los valores se hallan dentro del rango especificado en la normativa (6.1 ± 0.3), por lo que se concluye que este parámetro de control puede verificarse mediante la extracción de núcleos, sin que existan variaciones significativas en relación con las briquetas.

4.5.8 Relación filler/betún

La Tabla 4-15 indica la relación filler/betún determinada tanto para las briquetas como para los núcleos, mientras que la Figura 4-28 los muestra gráficamente.

Abscisa	Relación filler/ betún		
	Briqueta	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días
0+241	0.90	0.90	0.90
0+420	0.90	1.20	1.00
0+465	0.80	1.20	1.05
0+684	1.00	1.00	1.10
0+765	0.82	0.80	0.96
0+993	1.10	1.00	1.00
1+080	1.10	1.10	0.90
1+433	0.88	1.00	0.96
1+723	0.80	0.90	0.90
Promedio	0.92	1.01	0.97
Especificación MTOP	[0.8 - 1.2]		

Tabla 4-15: Relación filler/betún.

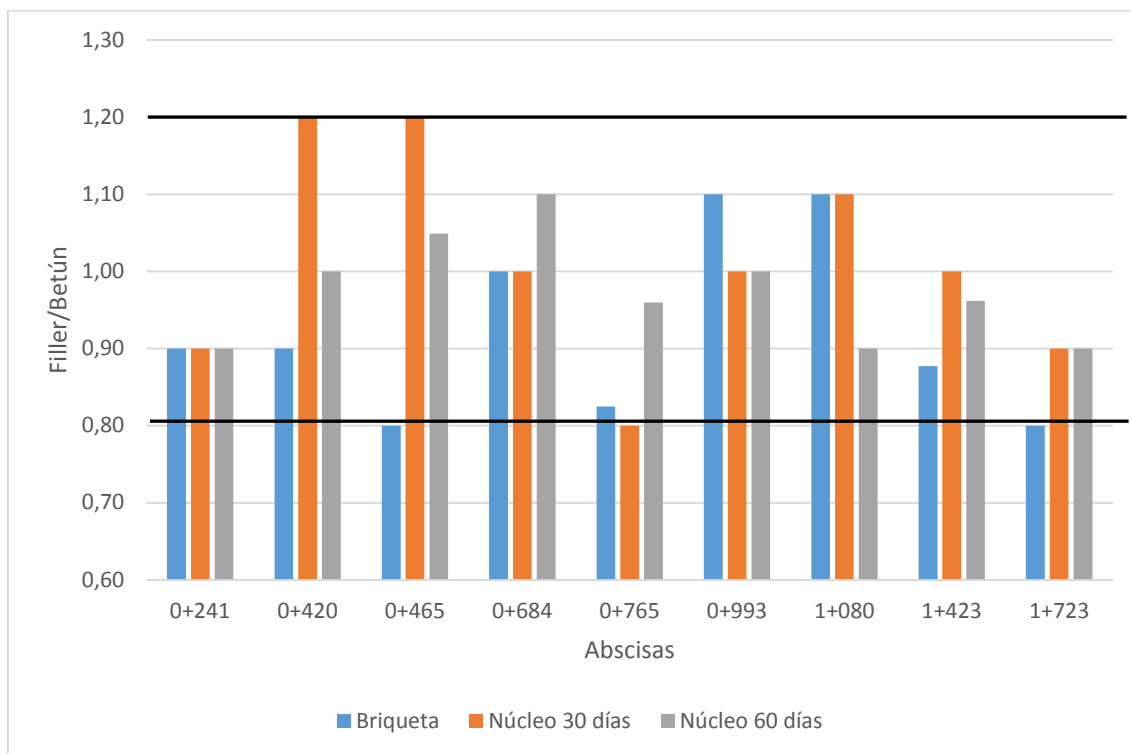


Figura 4-28: Resultados relación filler/betún.

Como se podría esperar, se observa que todos los valores se encuentran dentro del rango establecido en la normativa (0.8 - 1.2), por lo que se concluye que este parámetro de control puede verificarse mediante la extracción de núcleos, sin que existan variaciones significativas en relación con las briquetas.

4.5.9 Estabilidad

El total de datos de estabilidad para cada una de las briquetas (0 días) y núcleos a 30 y 60 días, así como los promedios por abscisas se indican en la Tabla 4-16:

Abscisa	No	Estabilidad (libras)					
		Briqueta	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días	Promedios		
					Briqueta	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días
0+241	1	2381.00	2951.00	2675.00			
	2	2567.00	3063.00	2822.00	2465.33	2925.67	2835.67
	3	2448.00	2763.00	3010.00			
0+420	4	2540.00	2987.00	3189.00	2481.67	2911.00	3147.67
	5	2398.00	2987.00	3165.00			
	6	2507.00	2759.00	3089.00			
0+465	7	2300.00	2671.00	3150.00	2283.67	2710.67	3004.00
	8	2323.00	2616.00	2889.00			
	9	2228.00	2845.00	2973.00			
	10	2616.00	2618.00	2547.00			

Abscisa	No	Estabilidad (libras)					
		Briqueta	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días	Promedios		
					Briqueta	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días
0+684	11	2655.00	2814.00	2440.00	2637.00	2715.00	2581.00
	12	2640.00	2713.00	2756.00			
0+765	13	2416.00	2516.00	2777.00	2504.00	2479.33	2769.00
	14	2613.00	2585.00	2722.00			
	15	2483.00	2337.00	2808.00			
0+993	16	2256.00	2772.00	3039.00	2343.33	2930.33	3153.33
	17	2470.00	3030.00	3056.00			
	18	2304.00	2989.00	3365.00			
1+080	19	2465.00	2923.00	3087.00	2533.33	2953.33	3118.67
	20	2505.00	2989.00	3100.00			
	21	2630.00	2948.00	3169.00			
1+423	22	2652.00	2572.00	2824.00	2587.33	2638.67	2819.33
	23	2450.00	2683.00	2870.00			
	24	2660.00	2661.00	2764.00			
1+723	25	2194.00	2470.00	2714.00	2234.00	2405.00	2446.67
	26	2230.00	2249.00	2215.00			
	27	2278.00	2496.00	2411.00			
PROMEDIO		2452.19	2741.00	2875.04	2452.19	2741.00	2875.04
Especificación MTOP > 1800							

Tabla 4-16: Resultados valores de estabilidad para briquetas y núcleos.

La Figura 4-29 representa gráficamente los promedios de los resultados obtenidos, siendo visible la tendencia al incremento en el valor de estabilidad con el paso del tiempo, sin embargo, se comprobará estadísticamente tal situación.

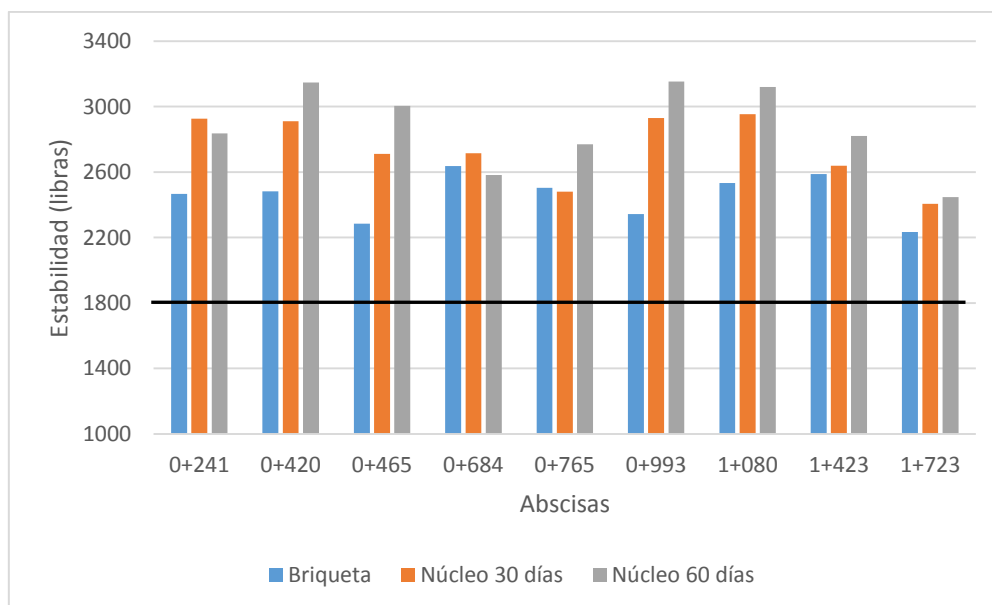


Figura 4-29: Resultados estabilidad.

Acorde a la especificación del MTOP existe un valor mínimo de estabilidad de 1800 lb para esta mezcla, sin embargo, no existe un límite superior, observándose entonces que todos los valores sobrepasan el mínimo requerido.

Conforme se describió en la metodología, en la Figura 4-30 se traza en primera instancia un boxplot, del que se aprecia un crecimiento en las medias y no se evidencia la existencia de “outliers” o valores que podrían ser eliminados por encontrarse muy alejados de la media.

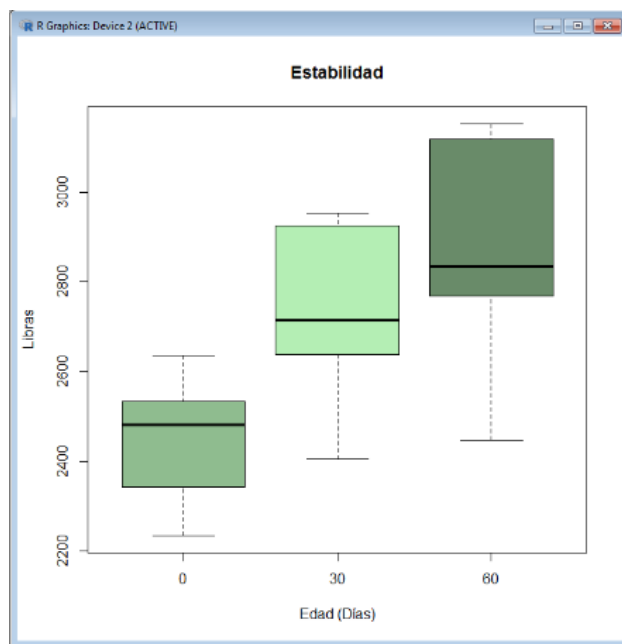


Figura 4-30: Boxplot estabilidad briquetas – núcleos.

Se analiza la normalidad de los datos mediante el test de Shapiro-Wilk, encontrándose que todas las series de datos pueden considerarse como una distribución normal (valor $p > 0.05$), como se muestra en la Tabla 4-17, por lo que puede aplicarse la prueba estadística T de Student para realizar inferencias en las diferencias de las medias (entre briquetas y núcleos).

Serie	Valor p
Briquetas	0.625
Núcleos 30 días	0.158
Núcleos 60 días	0.375

Tabla 4-17: Resultados test de Shapiro-Wilk para datos de estabilidad.

Acorde a los resultados del test de Shapiro-Wilk se acepta la normalidad para las series de datos y es factible la aplicación de una prueba T de Student para muestras pareadas con varianzas diferentes entre las medias de estabilidad de las briquetas y los núcleos a 30 días, así como entre los núcleos a 30 y 60 días. Las hipótesis nulas y alternativas se describen en la Tabla 4-18, los resultados de la prueba T se indican en la Tabla 4-19.

Grupo 1	Grupo 2	Hipótesis nula (H_0)	Hipótesis alternativa (H_1)
Estabilidad briquetas media = x_1	Estabilidad núcleos 30 días media = x_2	Media del primer grupo es mayor o igual a la del segundo grupo $x_1 \geq x_2$	Media del primer grupo es menor a la del segundo grupo

			$x_1 < x_2$
Estabilidad núcleos 30 días media= x_1	Estabilidad núcleos 60 días media= x_2	Media del primer grupo es mayor o igual a la del segundo grupo $x_1 \geq x_2$	Media del primer grupo es menor a la del segundo grupo $x_1 < x_2$

Tabla 4-18: Hipótesis nulas y alternativas para comparación de medias de estabilidad.

Grupo 1	Grupo 2	Estadístico t	Valor p
Estabilidad briquetas	Estabilidad núcleos 30 días	-3.9375	0.0022
Estabilidad núcleos 30 días	Estabilidad núcleos 60 días	-2.5320	0.0176

Tabla 4-19: Resultados T de Student para datos de estabilidad.

En ambos casos se observa que se debe rechazar la hipótesis nula ($p < 0.05$), por lo que se determina que los valores de estabilidad para las briquetas son menores que los de los núcleos a 30 días y éstos a su vez menores que de los núcleos a 60 días. Los cálculos en R se muestran en el **Anexo 5**.

De los resultados obtenidos en el programa R, se concluye que los valores de estabilidad aumentan en los núcleos a 30 días (en relación con las briquetas) y a su vez en los de 60 días (en relación con los núcleos de 30 días), por ende, el cumplimiento de este parámetro sí puede ser verificado mediante la extracción de núcleos, pues el rango de aceptación inicia desde las 1800 lb sin restricción superior.

A continuación, se plantea una relación del incremento de la estabilidad con el paso del tiempo, para lo cual, la Tabla 4-20 muestra el resultado promedio de ésta para 0, 30 y 60 días, y a partir de ello se proyecta una ecuación lineal cuya gráfica, ecuación y coeficiente de regresión R^2 se pueden apreciar en la Figura 4-31.

Tiempo (días)	Estabilidad (libras)
0	2452
30	2741
60	2875

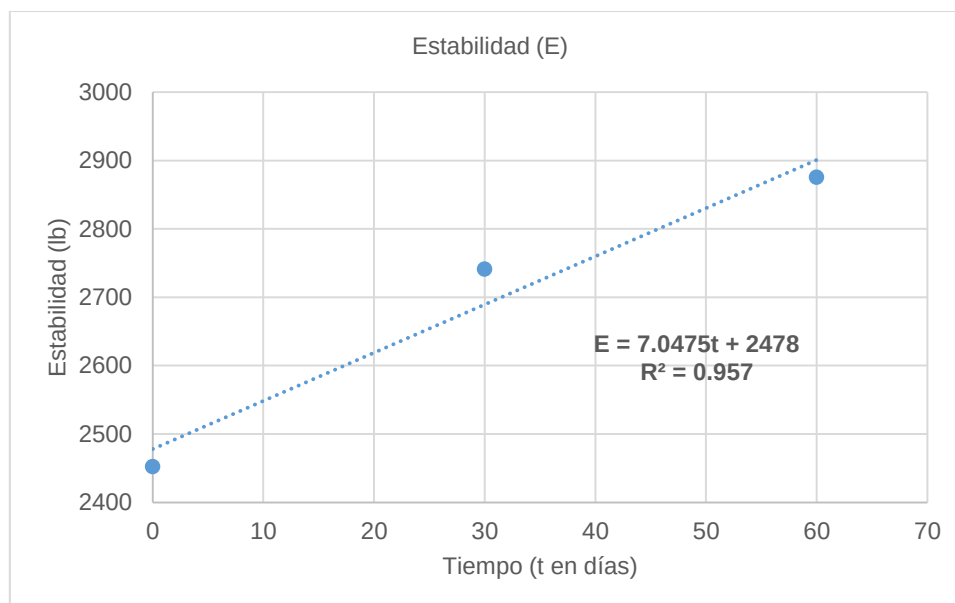
Tabla 4-20: Resumen estabilidad según tiempo.


Figura 4-31: Regresión lineal para estabilidad en el tiempo.

La relación encontrada para el incremento de estabilidad con el tiempo se define con la Ecuación 4-3.

$$E = 7.0475t + 2478$$

Ecuación 4-3

donde:

E= estabilidad en libras

t= tiempo en días

Se puede ver un coeficiente de regresión alto (0.957) para una ecuación lineal, por lo que no se realiza ningún otro tipo de ajuste debido al número de datos disponibles.

4.5.10 Flujo o fluencia

El total de datos de flujo para cada una de las briquetas y núcleos a 30 y 60 días, así como los promedios por abscisas se muestran en la Tabla 4-21.

Abscisa	No	Flujo (0.01 pulgadas)					
		Briqueta	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días	Promedios		
					Briqueta	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días
0+241	1	12.4	14.2	18.5	12.4	14.2	20.3
	2	12.0	14.6	20.4			
	3	12.8	13.8	22.0			
0+420	4	13.2	22.4	23.5	12.5	20.7	23.7
	5	11.2	19.7	22.5			
	6	13.0	20.1	25.0			
0+465	7	11.9	15.2	19.5	12.1	15.3	19.3
	8	12.8	14.8	18.4			
	9	11.7	15.8	20.0			
0+684	10	13.0	19.3	20.0	12.7	17.8	18.7
	11	13.0	18.1	17.5			
	12	12.2	16.1	18.5			
0+765	13	14.0	14.6	22.5	13.7	14.1	21.7
	14	13.8	14.8	23.0			
	15	13.4	13.0	19.5			
0+993	16	13.2	21.3	20.5	12.8	19.7	19.3
	17	13.0	18.1	19.0			
	18	12.2	19.7	18.5			
1+080	19	13.6	15.9	16.1	12.9	14.5	17.4
	20	12.4	13.8	19.0			
	21	12.6	13.8	17.0			
1+423	22	13.6	13.6	18.6	13.3	14.4	17.4
	23	13.2	15.2	20.5			
	24	13.2	14.4	13.0			
1+723	25	14.0	12.6	14.0	13.2	11.9	17.4
	26	13.0	10.8	17.7			
	27	12.6	12.2	20.5			

Abscisa	No	Flujo (0.01 pulgadas)					
		Briqueta	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días	Promedios		
					Briqueta	Núcleo 30 días	Núcleo 60 días
Promedio		12.85	15.85	19.45	12.85	15.85	19.45
Especificación MTOP [8 - 14]							

Tabla 4-21: Resultados valores de flujo para briquetas y núcleos.

La Figura 4-32 muestra gráficamente los promedios de los resultados obtenidos, siendo visible la tendencia al incremento en el valor de flujo con el paso del tiempo, sin embargo, se demostrará estadísticamente tal situación.

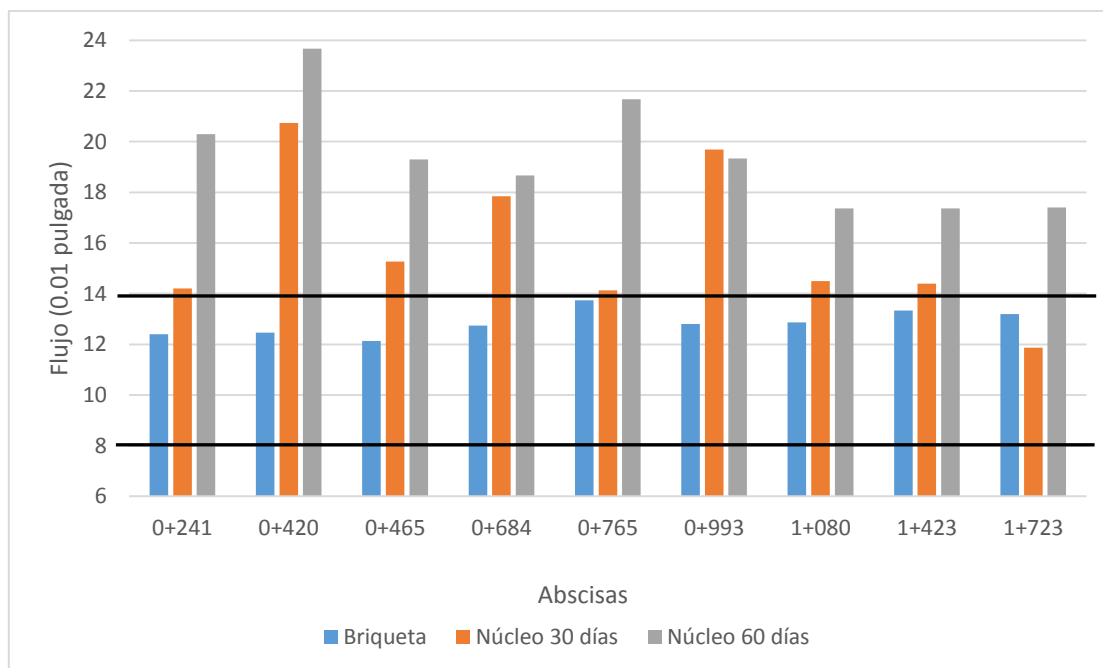


Figura 4-32: Resultados flujo briquetas – núcleos.

Para analizar el cumplimiento de la normativa se evaluará por separado la distribución de frecuencias para las briquetas, así como para los núcleos.

En el primer caso de las briquetas se puede observar que todas las muestras se encuentran dentro del rango que manda la especificación del MTOP, esto es entre 8 y 14, como se observa en la Figura 4-33.

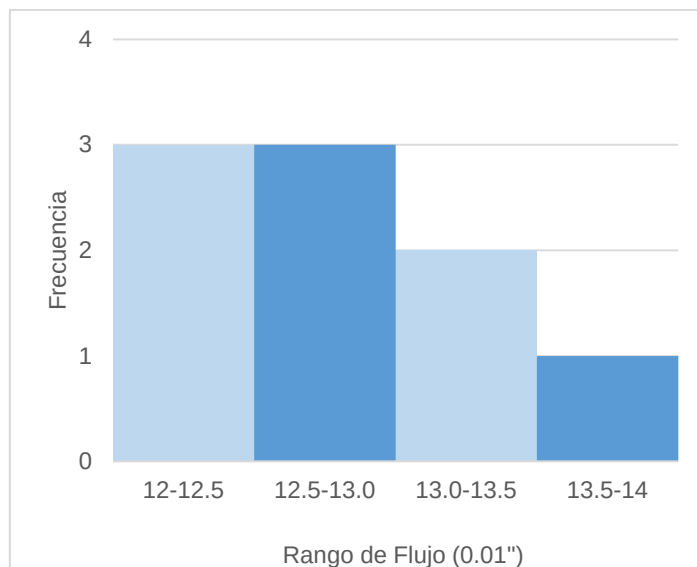


Figura 4-33: Histograma de flujo en briquetas.

En los núcleos a 30 días se aprecia que un 88.9% (8/9) de los valores exceden ya el límite superior del rango exceptuando un único punto (11.1%) como se muestra en la Figura 4-34. Debiéndose indicar que las primeras muestras tomadas son las que presentan flujos más elevados.

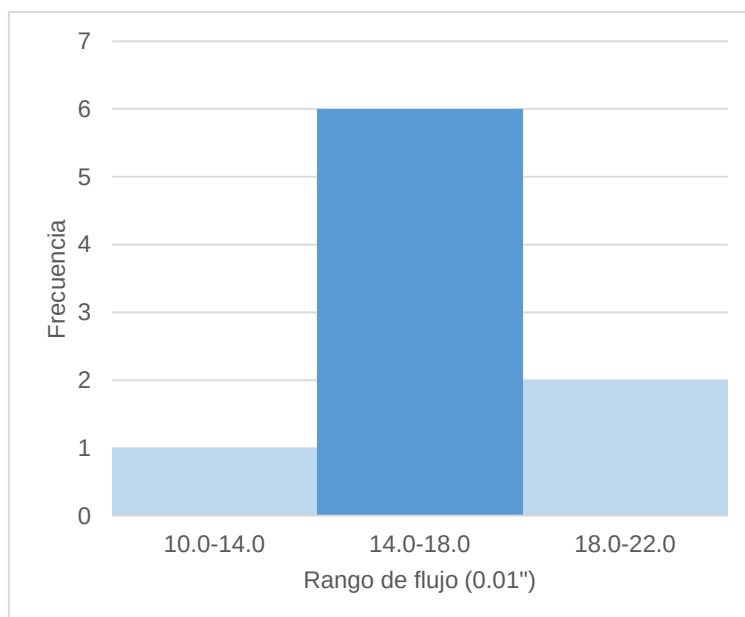


Figura 4-34: Histograma de flujo en núcleos a 30 días.

Mientras que, para los núcleos a 60 días se observa que el 100% (9/9) de los valores de flujo se hallan sobre el límite superior del rango expresado en la normativa, como se muestra en la Figura 4-35, con valores ≥ 17 .

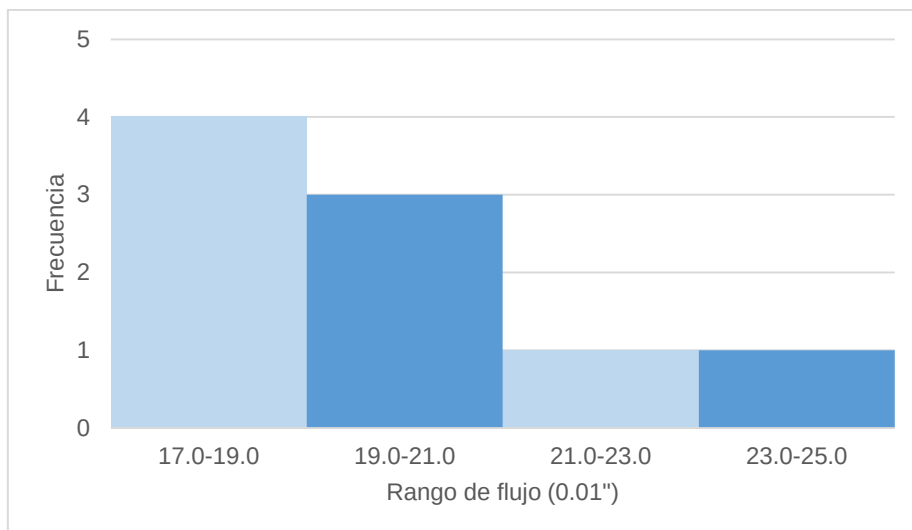


Figura 4-35: Histograma de flujo en núcleos a 60 días.

De manera análoga a lo realizado para la estabilidad, en la Figura 4-36 se traza un boxplot, para visualizar la presencia de valores alejados (outliers que podrían ser eliminados de las series), así como la distribución de la media.

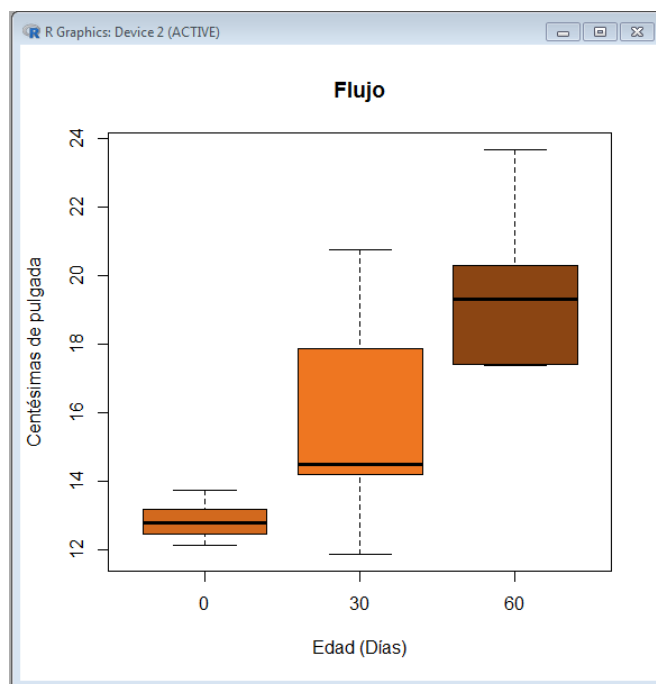


Figura 4-36: Boxplot flujo briquetas – núcleos.

No se determina la existencia de “outliers” o valores que podrían ser eliminados por encontrarse muy alejados de la media, lo que sí se observa es un cambio notable de la media que será analizado estadísticamente a continuación.

Se comprueba la normalidad de los datos mediante el test de Shapiro-Wilk, encontrándose que todas las series de datos pueden considerarse como distribución normal (valor $p > 0.05$), como se muestra en la Tabla 4-22:

Serie	Valor p
Briquetas	0.942
Núcleos 30 días	0.230
Núcleos 60 días	0.207

Tabla 4-22: Resultados test de Shapiro-Wilk para datos de flujo.

Acorde a los resultados del test de Shapiro-Wilk se acepta la normalidad para las series de datos y es factible la aplicación de una prueba T de Student para muestras pareadas con varianzas diferentes entre las medias de flujo para briquetas y los núcleos a 30 días, así como entre los núcleos a 30 y 60 días. Las hipótesis nulas y alternativas se describen en la Tabla 4-23, los resultados de la prueba T de Student se indican en la Tabla 4-24. Los cálculos en el programa R se muestran en el **Anexo 5**.

Grupo 1	Grupo 2	Hipótesis nula (H ₀)	Hipótesis alternativa (H ₁)
Flujo briquetas media = x_1	Flujo núcleos 30 días media = x_2	Media del primer grupo es mayor o igual a la del segundo grupo $x_1 \geq x_2$	Media del primer grupo es menor a la del segundo grupo $x_1 < x_2$
Flujo núcleos 30 días media = x_1	Flujo núcleos 60 días media = x_2	Media del primer grupo es mayor o igual a la del segundo grupo $x_1 \geq x_2$	Media del primer grupo es menor a la del segundo grupo $x_1 < x_2$

Tabla 4-23: Hipótesis nulas y alternativas para comparación de medias de flujo.

Grupo 1	Grupo 2	Estadístico t	Valor p
Flujo briquetas	Flujo núcleos 30 días	-2.8447	0.0108
Flujo núcleos 30 días	Flujo núcleos 60 días	-4.3037	0.0013

Tabla 4-24: Resultados T de Student para datos de flujo.

Se observa que se debe rechazar la hipótesis nula ($p < 0.05$), y aceptar la hipótesis alternativa de que el valor medio es menor entre los grupos de 0 con 30 y 30 con 60 días, o lo que es equivalente que el flujo aumenta con el tiempo.

De los resultados obtenidos se concluye que los valores de flujo aumentan en los núcleos a los 30 días (en relación con las briquetas) y a su vez en los de 60 días (en relación con los núcleos de 30 días), valores que se encuentran fuera del rango de aceptación de la mezcla asfáltica (8 a 14); sin embargo, esta condición no implica que la mezcla no sea aceptable, pues se partió de la premisa que la calidad de la misma cumple con las especificaciones correspondientes, situación que fue verificada previo a la extracción de núcleos durante su colocación.

Para los núcleos a 30 días se tiene un flujo promedio de 15.85, mientras que para los de 60 días un flujo promedio de 19.45. Estos valores si bien salen fuera de la franja de control, igual representan a una mezcla de buena calidad, por lo que, en caso de obtenerse el parámetro de flujo mediante la extracción de núcleos, se recomienda ampliar el rango de aceptación al menos a un percentil 95 de los valores obtenidos para los núcleos a 60 días. De esta manera el rango de aceptación para el parámetro de flujo obtenido mediante el ensayo Marshall en núcleos sería de 8 a 23.

De manera análoga que con la estabilidad, se define una relación del incremento del flujo con el paso del tiempo, para lo cual, la Tabla 4-25 muestra el resultado promedio

de éste para 0, 30 y 60 días, y a partir de ello se proyecta una ecuación lineal cuya gráfica, ecuación y coeficiente de regresión (R^2) se pueden observar en la Figura 4-37.

Tiempo (días)	Flujo (0.01 pulg)
0	12.85
30	15.85
60	19.45

Tabla 4-25: Resumen flujo según tiempo.

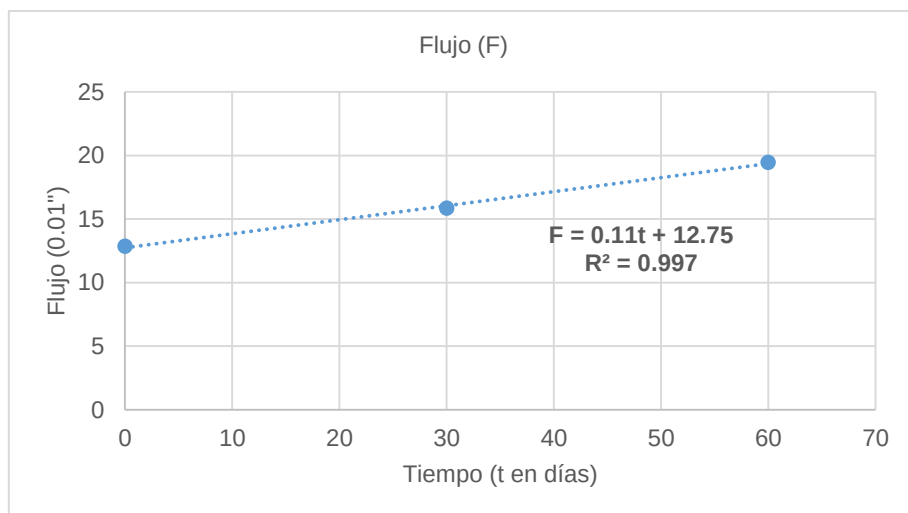


Figura 4-37: Regresión lineal para flujo en el tiempo.

La relación encontrada para el incremento del flujo con el tiempo se muestra en la Ecuación 4-4.

$$F = 0.11t + 12.75$$

Ecuación 4-4

donde:

F = flujo en centésimas de pulgada

T = tiempo en días

Se observa que el ajuste de la ecuación lineal es alto, con un coeficiente de regresión de 0.997, superior al obtenido para la estabilidad. Es recomendable ampliar esta investigación de manera que puedan complementarse los resultados para periodos más extensos de tiempo.



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones manifestadas deben considerarse hasta 60 días luego de colocada la mezcla asfáltica, con las condiciones de tráfico del proyecto vial, con los áridos provenientes del cerro Tamuga y la cantera Cochancay, y el cemento asfáltico Tipo AC-20 procedente de la refinería Esmeraldas, Ecuador; sin embargo, pueden emplearse para otros casos realizando las respectivas pruebas de verificación.

5.1 CONCLUSIONES

- El diseño de la mezcla asfáltica mediante el método Marshall, y el posterior control de calidad realizado conforme las especificaciones técnicas correspondientes del MTOP, determinan que la calidad de ésta es satisfactoria.
- La comprobación del diseño Marshall y el control de calidad de la mezcla asfáltica de la vía Gualaceo – Plan de Milagro fue realizado a través de una réplica del diseño, construcción de un tramo de prueba, control de temperaturas y densidades de campo y confección de un total de 27 briquetas entre el 27 de abril y 04 de mayo de 2017, dando como resultado el cumplimiento de los parámetros para aceptación de una mezcla asfáltica acorde a lo solicitado en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes, MOP-001-F 2002 del Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP. En sitios aledaños a las abscisas en las que se confeccionaron las briquetas se extrajeron 27 núcleos a los 30 días y 27 núcleos más a los 60 días.
- Se identificó que la granulometría de la mezcla asfáltica no es alterada de manera significativa por el corte de los agregados gruesos que realiza la broca durante la extracción de los núcleos, de manera que este parámetro puede ser verificado luego del tendido de la mezcla mediante la extracción de éstos.
- Los parámetros de granulometría del agregado mineral, porcentaje de vacíos, vacíos en el agregado mineral (VAM), vacíos rellenos de asfalto (VFA), contenido de betún asfáltico y relación filler/betún obtenidos mediante la extracción de núcleos se mantienen en los rangos requeridos en las especificaciones técnicas del MTOP, por tanto, los ensayos realizados en núcleos extraídos pueden ser considerados adecuados como criterio de aceptación de mezclas asfálticas. No existe una variación estadísticamente significativa de las medias.
- Se ha verificado que la densidad bulk obtenida en las briquetas y en los núcleos no varía significativamente, manteniéndose prácticamente constante en el transcurso del tiempo analizado.
- La estabilidad encontrada en las muestras obtenidas mediante la extracción de núcleos presenta un incremento con relación a lo obtenido en briquetas confeccionadas en campo durante el tendido, y se halla en todo momento por sobre el mínimo de 1800 lb establecido en la normativa para esta mezcla, por lo que, al no existir una restricción superior de este parámetro, los ensayos realizados en núcleos extraídos para determinar la estabilidad pueden



considerarse como adecuados para definir la aceptación de una mezcla asfáltica.

- Se determina una relación lineal entre la estabilidad y el tiempo con un coeficiente de regresión de 0.957.
- El flujo encontrado en las muestras obtenidas mediante la extracción de núcleos presenta un incremento con relación a las briquetas confeccionadas en campo durante el tendido, con valores superiores a los establecidos para la aceptación de la mezcla asfáltica (8 – 14); sin embargo, esta condición no implica que la mezcla no sea aceptable, pues se partió de la premisa que la calidad de la misma cumple con las especificaciones correspondientes, situación que fue verificada previo a la extracción de núcleos.
- Se determina una relación lineal entre el flujo y el tiempo con un coeficiente de regresión de 0.997.
- Para los núcleos a 30 días se tiene un flujo promedio de 15.85, mientras que para los de 60 días un flujo promedio de 19.45. Estos valores si bien salen fuera de la franja de control (8 – 14), igual representan a una mezcla de buena calidad, puesto que todos los parámetros de control de la mezcla asfáltica obtenidos de las briquetas confeccionadas durante su colocación son satisfactorios, incluyendo el flujo, cuyo valor medio es de 12.85. De ahí que, si se controla el parámetro de flujo mediante la extracción de núcleos, se establece que es necesario ampliar el rango de aceptación a un valor entre 8 y 23.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar el campo de investigación con pruebas en periodos de tiempo más prolongados, hasta identificar un lumbral en las propiedades de los materiales, periodo que podría considerarse hasta los 12 meses.
- De igual forma, se recomienda complementar esta investigación con el uso de diferentes fuentes de materiales, tamaños de agregado y condiciones de tráfico, de tal manera que la aplicabilidad de estos resultados pueda emplearse a nivel regional (sierra) y nacional.
- Se recomienda investigar los efectos de las cargas vehiculares sobre las propiedades analizadas, de tal manera que su aplicación obedezca a las condiciones de operación de cada vía.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. Ecuador: MTOP, 2002.
- [2] American Society for Testing and Materials, *Standard test method for Marshall stability and flow of asphalt mixtures ASTM D6927-15*. United States: ASTM, 2015.
- [3] P. Garnica, M. Flores, J. Gómez, and H. Delgado, *Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas*. Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte, 2005.
- [4] E. Recuenco Aguado, *Firmes y pavimentos: de carreteras y otras infraestructuras*. Madrid: Garceta, 2014.
- [5] Asphalt Institute, *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. Chile: Instituto Chileno del Asfalto, 2001.
- [6] P. Garnica Anguas, H. Delgado Alamilla, J. A. Gómez López, S. Alonso Romero, and H. A. Alarcón Orta, *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas*. Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte, 2004.
- [7] H. A. Rondón Quintana, M. H. Pinzón Hernández, F. A. Reyes Lizcano, H. A. Vacca Gámez, L. Á. Moreno Anselmi, and X. A. Vargas Arenas, "Influencia de las condiciones ambientales de la ciudad de Bogotá sobre la estabilidad y el flujo Marshall de una mezcla densa en caliente," Bogotá, 2008.
- [8] J. R. Martin and H. A. Wallace, *Pavimentos asfálticos: proyecto y construcción*. Madrid: Aguilar, 1962.
- [9] Instituto Nacional de Vías, *Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall INVIAS E-748-13*. Colombia: INVIAS, 2013.
- [10] Instituto Nacional de Vías, *Resistencia a la compresión simple de mezclas bituminosas INVIAS E-747-13*. Colombia: INVIAS, 2013.
- [11] T. P. Ryan, *Modern engineering statistics*. Acworth: John Wiley & Sons, 2007.
- [12] A. L. G. Webster and Y. María, *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. Bogotá: McGraw-Hill, 2000.
- [13] R Development Core Team, *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017.



RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA

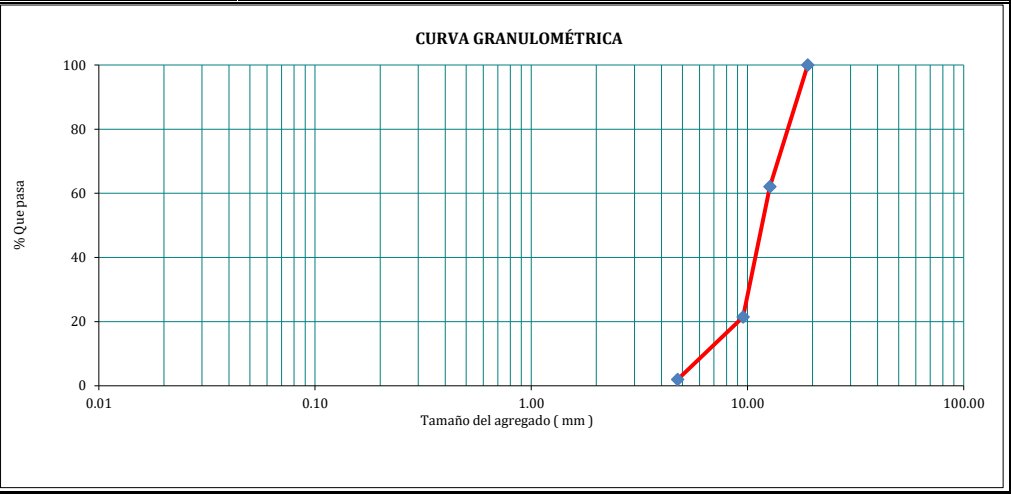
ANEXO 1:

ENSAYOS DE LABORATORIO PARA VERIFICACIÓN DISEÑO MARSHALL

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Peso de la Muestra Después del Lavado	3926.00	g
Arena =	1.94	

Tamiz	Abertura	Ret Parcial	Ret Acumulado	% Que pasa	
-------	----------	-------------	---------------	------------	--





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : **Determinación de la Gravedad Específica y porcentaje de Absorción del Agregado Grueso.**
Norma : **ASTM C 127**
Fecha de Muestreo : 10/04/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Planta Trituradora - Stock

Material : Triturado 3/4

Procedencia: Cerro Tamuga

Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro

Abscisa: -

A Peso del material sumergido 2320.00

B Peso del material Saturado Seco Superficialmente 3730.00

C Peso del material seco 3667.00

1) Gravedad específica de masa (Bulk) $\frac{C}{(B - A)}$ = 2.60

2) Gravedad específica saturada seca superficialmente (SSS) $\frac{B}{(B - A)}$ = 2.65

3) Gravedad específica aparente $\frac{C}{(C - A)}$ = 2.72

4) Porcentaje de absorción $\frac{(B - C)}{C} \times 100 = 1.72\%$



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO
Norma : ASTM D 422-63

Fecha de Muestreo : 10/04/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Planta Trituradora - Stock
Material : Triturado 3/8
Procedencia: Cerro Tamuga
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro
Abscisa: -

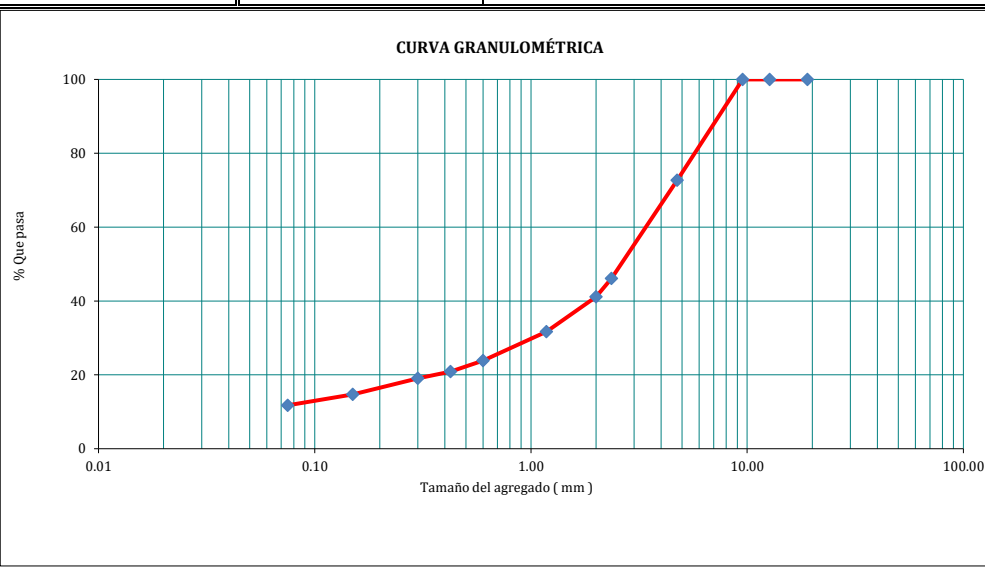
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO

Peso Inicial de la Muestra Seca	2459.00	g
Peso de la Muestra Después del Lavado	2170.00	g
Perdida por Lavado	289.00	g

Grava =	27.33
Arena =	60.92
Finos =	11.75

Tolerancia 88.25 %

Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial g	Ret Acumulado		% Que pasa
			(g)	(%)	
4"	101.60				
3"	76.20				
2½"	63.50				
2"	50.80				
1½"	38.10				
1"	25.40				
¾"	19.00				100
1/2"	12.70				100
3/8"	9.53				100
Nº4	4.75		672.00	27.33	73
PASA Nº4					
Nº8	2.36		1326.00	53.92	46
Nº10	2.00		1447.00	58.85	41
Nº16	1.18		1680.00	68.32	32
Nº30	0.60		1873.00	76.17	24
Nº40	0.43		1946.00	79.14	21
Nº50	0.30		1991.00	80.97	19
Nº100	0.15		2098.00	85.32	15
Nº200	0.075		2170.00	88.25	12
PASA 200		289.00			
Total Retenido :					





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO
Norma : ASTM D 422-63

Fecha de Muestreo : 10/04/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

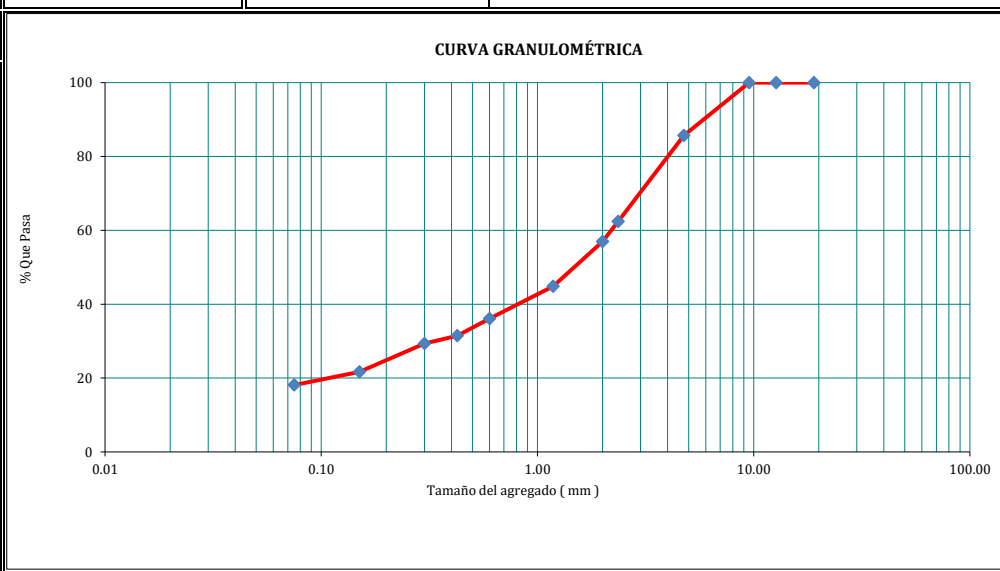
Lugar de muestreo: Planta Trituradora - Stock
Material : Triturado 3/8
Procedencia: Cochancay
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro
Abscisa: -

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO

Peso Inicial de la Muestra Seca	1872.00	g
Peso de la Muestra Después del Lavado	1533.00	g
Perdida por Lavado	339.00	g
Tolerancia	81.89	%

Grava =	14.32
Arena =	67.57
Finos =	18.11

Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial g	Ret Acumulado		% Que pasa
			(g)	(%)	
4"	101.60				
3"	76.20				
2½"	63.50				
2"	50.80				
1½"	38.10				
1"	25.40				
¾"	19.00				100
1/2"	12.70				100
3/8"	9.53				100
Nº4	4.75		268.00	14.32	86
PASA Nº4					
Nº8	2.36		704.00	37.61	62
Nº10	2.00		806.00	43.06	57
Nº16	1.18		1033.00	55.18	45
Nº30	0.60		1196.00	63.89	36
Nº40	0.43		1283.00	68.54	31
Nº50	0.30		1323.00	70.67	29
Nº100	0.15		1466.00	78.31	22
Nº200	0.075		1533.00	81.89	18
Pasa 200		339.00			
Total Retenido :					





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : **LIMITES DE CONSISTENCIA y HUMEDAD**
LÍMITE LÍQUIDO **Norma :** **ASTM D 4318** **HUMEDAD**
LÍMITE PLÁSTICO **Norma :** **ASTM D 4319** **Norma :** **ASTM D 2216**
Fecha de Muestreo : 10/04/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

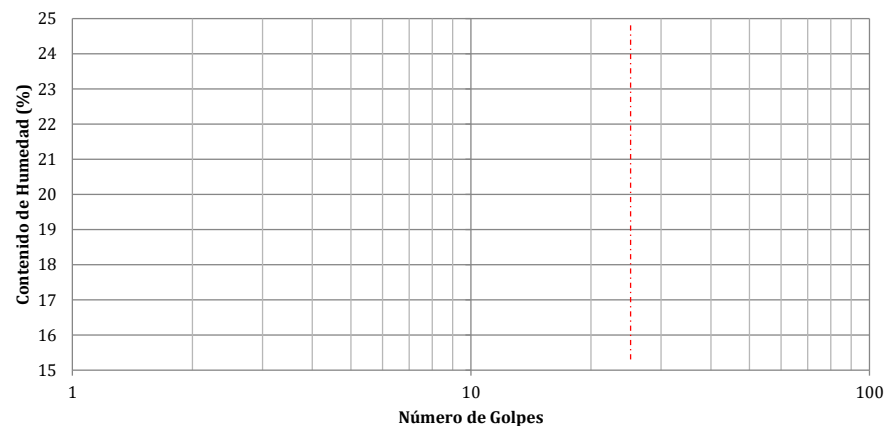
Lugar de muestreo: Planta Trituradora - Stock
Material : Triturado 3/8
Procedencia: 31% Cochancay, 21% Tamuga
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro
Abscisa: -

LIMITES DE CONSISTENCIA y HUMEDAD NATURAL

Humedad natural						
N° Tarro	N° Golpes	Peso Húmedo	Peso Seco	Peso Tarro	% de humedad	% Promedio
9		40.05	37.97	7.11	6.74	
11		38.98	36.02	7.26	10.29	
						8.52
Límite Líquido						
Límite Plástico						
						NP

Limites de Consistencia			
			Especificación
			MOP-001-F-2002
Límite Líquido:	LL =		
Límite Plástico:	LP =	NP	
Índice de Plasticidad :	IP =	NP	
Contenido de Humedad :	Wn =	8.52	
Grado de Consistencia :	Kw =		
Grado de Consistencia :			

HUMEDAD vs No. GOLPES



La porción de los agregados que pasa el tamiz INEN 0.425 mm. (Nº 40), deberá tener un índice de plasticidad menor a 4



PROYECTO:	RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACION Y POSTERIOR A LA MISMA		
CONSTRUCCIÓN:	MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS		
REALIZADO POR:	Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez		
Ensayo :	Determinación de la Gravedad Específica y Porcentaje de Absorción del Agregado Fino	Lugar de muestreo: Planta Trituradora - Stock	
Norma :	ASTM C 128	Material : Triturado 3/8	
Fecha de Muestreo :	10/04/2017	Procedencia: 31% Cochancay, 21% Tamuga	
Muestreado por :	La. Ignacio Rengel	Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro	
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa: -	

AGREGADO GRUESO (MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ No 4)

A	Peso del material sumergido		723.00
B	Peso del material Saturado Seco Superficialmente		1139.00
C	Peso del material seco		1101.00
1)	Gravedad Específica de Masa (Bulk)	$\frac{C}{(B - A)} =$	2.65
2)	Gravedad Específica Saturada Seca Superficialmente (SSS)	$\frac{B}{(B - A)} =$	2.74
3)	Gravedad Específica Aparente	$\frac{C}{(C - A)} =$	2.91
4)	Porcentaje de Absorción	$\frac{(B - C)}{C} \times 100 =$	3.45%

AGREGADO FINO (MATERIAL PASANTE DEL TAMIZ No 4)

A	Peso del material saturado seco superficialmente		500.00
B	Peso del picnómetro + agua + material		1717.00
C	Peso del picnómetro + agua		1410.00
D	Peso del material seco		482.00
1)	Gravedad específica de masa (Bulk)	$\frac{D}{(C + A - B)} =$	2.50
2)	Gravedad específica saturada seca superficialmente (SSS)	$\frac{A}{(C + A - B)} =$	2.59
3)	Gravedad específica aparente	$\frac{(C + A - B)}{D} =$	2.75
4)	Porcentaje de absorción	$\frac{(A - D)}{D} \times 100 =$	3.73%



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO
Norma : ASTM D 422-63

Fecha de Muestreo : 10/04/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Planta Trituradora - Stock
Material : Arena
Procedencia: Cochancay
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro
Abscisa: -

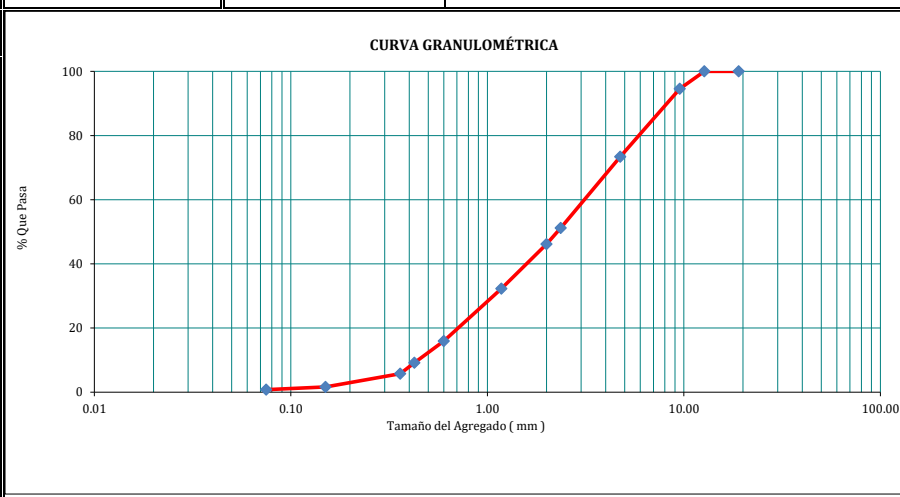
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO

Peso Inicial de la Muestra Seca 1643.00 g
Peso de la Muestra Después del Lavado 1630.00 g
Pérdida por Lavado 13.00 g

Grava = 26.60
Arena = 72.61
Finos = 0.79

Tolerancia 99.21 %

Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial g	Ret Acumulado (g) (%)		% Que pasa	Especificación MOP-001-F-2002
4"	101.60					
3"	76.20					
2½"	63.50					
2"	50.80					
1½"	38.10					
1"	25.40					
3/4"	19.00				100	
1/2"	12.70				100	
3/8"	9.53		89.00	5.42	95	
Nº4	4.75		437.00	26.60	73	
Nº8	2.36		802.00	48.81	51	
Nº10	2.00		885.00	53.86	46	
Nº16	1.18		1113.00	67.74	32	
Nº30	0.60		1381.00	84.05	16	
Nº40	0.43		1492.00	90.81	9	
Nº50	0.36		1548.00	94.22	6	
Nº100	0.15		1616.00	98.36	2	
Nº200	0.075		1630.00	99.21	1	
PASA 200						
Total Retenido :						



D60 = 2.50
D30 = 0.82
D10 = 0.33

Cu = 7.56

Cc = 0.81

Módulo de Finura = 5.64 Si el módulo de finura es mayor a 3.1 se trata de una arena gruesa.



PROYECTO: RELACION DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : **Determinación de la Gravedad Específica y Porcentaje de Absorción del Agregado Fino**

Norma : **ASTM C 128**

Fecha de Muestreo : 10/04/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Planta Trituradora - Stock

Material : Arena

Procedencia: Cochancay

Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro

Abscisa: -

A Peso del material Saturado Seco Superficialmente (g)

500.00

B Peso del Picnómetro + Agua + Material (g)

1721.00

C Peso del Picnómetro + Agua (g)

1410.00

D Peso del material seco (g)

486.00

1) Gravedad Específica de Masa (Bulk)

$$\frac{D}{(C + A - B)} = 2.57$$

2) Gravedad Específica Saturada Seca Superficialmente (SSS)

$$\frac{A}{(C + A - B)} = 2.65$$

3) Gravedad Específica Aparente

$$\frac{D}{(D + C - B)} = 2.78$$

4) Porcentaje de Absorción

$$\frac{(A - D)}{D} \times 100 = 2.88\%$$



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : Determinación de pesos volumétricos sueltos secos y compactados
Norma : ASTM C 29

Fecha de Muestreo : 10/04/2017
Muestreado por : La. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Planta Trituradora - Stock
Procedencia: Cochancay
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro
Abscisa: -

Ensayo pesos unitarios varillado		
Peso muestra	Volumen molde	
5017	2737	1.833
5126	2737	1.873
5126	2737	1.873
Peso unitario	1.860	g/cm3

Ensayo pesos unitarios suelto		
Peso muestra	Volumen molde	
4594	2737	1.678
4641	2737	1.696
4612	2737	1.685
PESO UNITARIO	1.686	g/cm3



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO
Norma : ASTM D 422-63

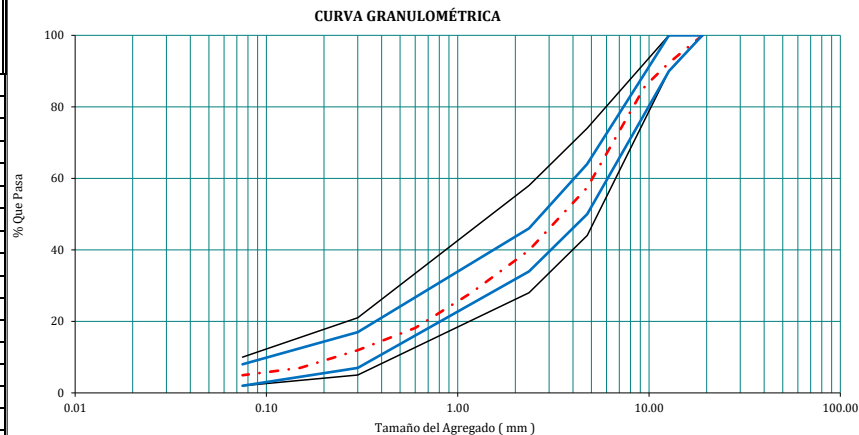
Fecha de Muestreo : 10/04/2017
Muestreado por : Lab Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Planta Trituradora - Stock
Material : Triturado 3/4", Triturado 3/8", Arena (Gradación Combinada)
Procedencia: 18% (3/4" Tamuga)+21% (3/8" Tamuga)+31% (3/8" Cochancay)+30% (Arena Cochancay)
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro
Abscisa: -

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO

Peso Inicial de la Muestra Seca	500.00	g		Grava =	42.54		
Peso de la Muestra Después del Lavado	500.00	g		Arena =	52.52		
Perdida por Lavado	0.00	g		Finos =	4.94		
Tolerancia	100.000	%					

Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g) (%)		% Que pasa	Faja Especificación (Tabla 405-5.61)	Faja Trabajo
4"	101.60						
3"	76.20						
2½"	63.50						
2"	50.80						
1½"	38.10						
1"	25.40						
¾"	19.00				100	100	100
1/2"	12.70	375.00	375.00	8	92	90-100	90-100
3/8"	9.53	317.00	692.00	14	86	79-94	79-93
Nº4	4.75	1378.00	2070.00	43	57	44-74	50-64
PASA Nº4		2796.00					
Nº8	2.36	153.00	153.00	60	40	28-58	34-46
Nº16	1.18	103.00	256.00	72	28	20-45	22-34
Nº30	0.60	86.00	342.00	82	18	13-34	13-23
Nº50	0.30	54.00	396.00	88	12	5-21	7-17
Nº100	0.15	43.00	439.00	93	7	4-16	4-11
Nº200	0.075	18.00	457.00	95	5	2-10	2-8
PASA 200		43.00					
Total Retenido :		4866.00					





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS

REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : Prueba de Abrasión de Los Ángeles
Norma : ASTM C - 131

Fecha de Muestreo : 10/04/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Planta Trituradora - Stock
Material : Triturado 3/4", Triturado 3/8", Arena (Gradación Combinada)
Procedencia: 18% (3/4" Tamuga)+21% (3/8" Tamuga)+31% (3/8" Cochancay)+30% (Arena Cochancay)
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro
Abscisa: -

Método		A	B	C	D
Diámetro		CANTIDAD DE MATERIAL (gramos)			
Pasa el tamiz	Retenido en tamiz				
1 1/2"	1"	(1250±25)			
1"	3/4"	(1250±25)			
3/4"	1/2"	(1250±10)	(2500±10)		
1/2"	3/8"	(1250±10)	(2500±10)		
3/8"	1/4"			(2500±10)	
				2500	
1/4"	Nº 4			(2500±10)	
				2500	
Nº 4	Nº 8				(5000±10)
PESO TOTAL		(5000±10)	(5000±10)	(5000±10)	(5000±10)
Nº de esferas				5000	
Nº de revoluciones				8	
Tiempo de rotación (minutos)				500	
				15	

Peso inicial 5000

Peso final 3781

% Desgaste= $\frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} \times 100$ 24.38%

Los agregados gruesos no deberán tener un desgaste mayor de 40% luego de 500 revoluciones de la máquina de Los Ángeles, cuando sean ensayados a la abrasión

Método		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material (gramos)			
Pasa el tamiz	Retenido en tamiz				
1 1/2"	1"	(1250±25)			
1"	3/4"	(1250±25)			
3/4"	1/2"	(1250±10)	(2500±10)		
			2500		
1/2"	3/8"	(1250±10)	(2500±10)		
			2500		
3/8"	1/4"			(2500±10)	
1/4"	Nº 4			(2500±10)	
Nº 4	Nº 8				(5000±10)
Peso total		(5000±10)	(5000±10)	(5000±10)	(5000±10)
Nº de esferas			5000		
Nº de revoluciones			11		
Tiempo de rotación (minutos)			500		
			15		

Peso inicial 5000

Peso final 3775

% Desgaste= $\frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} \times 100$ 24.50%

Los agregados gruesos no deberán tener un desgaste mayor de 40% luego de 500 revoluciones de la máquina de Los Ángeles, cuando sean ensayados a la abrasión



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : EQUIVALENTE DE ARENA	Lugar de muestreo: Planta Trituradora - Stock
Norma : ASTM D - 2419	Material : Triturado 3/4", Triturado 3/8", Arena (Gradación Combinada)
Fecha de Muestreo : 10/04/2017	Procedencia: 18% (3/4" Tamuga)+21% (3/8" Tamuga)+31% (3/8" Cochancay)+30% (Arena Cochancay)
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel	Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro
Revisado por : Ing. Cristian Flores	Abscisa: -

	Lectura 1 (cm)	Lectura 2 (cm)	Lectura 3 (cm)
Lectura en el nivel superior de la arcilla	4.8	4.7	4.9
Lectura en el nivel superior de la arena	2.5	2.6	2.6

Equivalente de arena= $\frac{\text{Lectura en el nivel superior de la arena}}{\text{Lectura en el nivel superior de la arcilla}}$

	Resultado 1	Resultado 2	Resultado 3
Equivalente de arena=	52.08%	55.32%	53.06%

Media del equivalente de arena= 53%

Observaciones: Material pasante el tamiz No. 4

Especificaciones:
Los valores mínimos recomendados son los siguientes:

	Equivalente de Arena	
	Tráfico liviano y mediano	Tráfico pesado
Base	35	40
Capa de Rodadura	45	50



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS
Norma : ASTM D 5821-95

Fecha de Muestreo : 10/04/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Planta Trituradora - Stock
Material : Triturado 3/4", Triturado 3/8", Arena (Gradación Combinada)

Procedencia: 18% (3/4" Tamuga)+21% (3/8" Tamuga)+31% (3/8" Cochancay)+30% (Arena Cochancay)

Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro

Abscisa: -

Tamices:	Pasa				Retenido			
	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"

Peso Partículas (g): 1200

F Peso o cantidad de partículas fracturadas con al menos el número especificado de caras fracturadas 1197

Q Peso o cantidad de partículas cuestionables 3

N Peso o cantidad de partículas en la categoría de no fracturadas que no cumplen el criterio de fractura 0

P Porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas $P = \left[\frac{F + Q/2}{F + Q + N} \right] \times 100$ 99.88%

Tamices:	Pasa				Retenido			
	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"

Peso Partículas (g): 300

F Peso o cantidad de partículas fracturadas con al menos el número especificado de caras fracturadas 295.6

Q Peso o cantidad de partículas cuestionables 4.4

N Peso o cantidad de partículas en la categoría de no fracturadas que no cumplen el criterio de fractura 0

P Porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas $P = \left[\frac{F + Q/2}{F + Q + N} \right] \times 100$ 99.27%

Debido a que el 100% del material procede de un proceso de trituración, este se clasifica como agregado con dos o mas caras fracturadas.

El 85% de agregado grueso deberá tener por lo menos una cara fracturada y el 80% del agregado grueso deberá tener por lo menos dos caras fracturadas.



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo :	ENSAYO DE DELETEREOS	Lugar de muestreo:	Planta Trituradora - Stock
Norma :	ASTM C 142	Material :	Triturado 3/4", Triturado 3/8", Arena (Gradación Combinada)
Fecha de Muestreo :	10/04/2017	Procedencia:	18% (3/4" Tamuga)+21% (3/8" Tamuga)+31% (3/8" Cochancay)+30% (Arena Cochancay)
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa:	-

Tamiz	Peso Inicial	Peso Final	% de Pérdida	Especificación
	(gramos)	(gramos)		Norma ASTM C142
3/4 a 3/8	2000	1997.7	0.11%	< 1,0 %

Tamiz	Peso Inicial	Peso Final	% de Pérdida	Especificación
	(gramos)	(gramos)		Norma ASTM C142
3/8 a # 4	1000	997.3	0.27%	< 1,0 %



PROYECTO:	RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA		
CONSTRUCCIÓN:	MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS		
REALIZADO POR:	Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez		
Ensayo :	ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE AGREGADOS		Lugar de muestreo: Planta Trituradora - Stock
Norma :	ASTM D-4791		Material : Triturado 3/4", Triturado 3/8", Arena (Gradación Combinada)
Fecha de Muestreo :	10/04/2017		18% (3/4" Tamuga)+21% (3/8"
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel		Procedencia: Tamuga)+31% (3/8" Cochancay)+30% (Arena Cochancay)
Revisado por :	Ing. Cristian Flores		Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro
			Abscisa: -

TAMICES:	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"
% Parcial						7.71		

ÍNDICE DE APLANAMIENTO

P	Peso de las partículas que pasan por la ranura correspondiente	135.5
W	Peso inicial de esa fracción	424.9
IAP	Índice de aplanamiento de la fracción ensayada	$\frac{P}{W} \times 100 = 31.89\%$
IA	Índice de aplanamiento de la fracción ponderada	$\frac{P}{W} \times \%Parcial = 2.46\%$

ÍNDICE DE ALARGAMIENTO

R	Peso de las partículas retenidas entre las correspondientes barras	34.5
W	Peso inicial de esa fracción	424.9
IAL	Índice de alargamiento de la fracción ensayada	$\frac{R}{W} \times 100 = 8.12\%$
IA	Índice de alargamiento de la fracción ponderada	$\frac{R}{W} \times \%Parcial = 0.63\%$

PESO PARTICULAS PLANAS Y LARGAS	14.2 g	0.26%
---------------------------------	--------	-------

TAMICES:	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"
% Parcial							6.51	

INDICE DE APLANAMIENTO

P	Peso de las partículas que pasan por la ranura correspondiente	26.8
W	Peso inicial de esa fracción	240.2
IAP	Índice de aplanamiento de la fracción ensayada	$\frac{P}{W} \times 100 = 11.16\%$
IA	Índice de aplanamiento de la fracción ponderada	$\frac{P}{W} \times \%Parcial = 0.73\%$

INDICE DE ALARGAMIENTO

R	Peso de las partículas retenidas entre las correspondientes barras	42.1
W	Peso inicial de esa fracción	240.2
IAL	Índice de alargamiento de la fracción ensayada	$\frac{R}{W} \times 100 = 17.53\%$
IA	Índice de alargamiento de la fracción ponderada	$\frac{R}{W} \times \%Parcial = 1.14\%$

PESO PARTICULAS PLANAS Y LARGAS	6 g	0.16%
---------------------------------	-----	-------

El máximo porcentaje en peso de partículas alargadas y achatadas retenidas en el tamiz INEN 4.75mm cuya relación entre las dimensiones máximas y mínimas mayor que 5, no deberá ser mayor de un 10% según la Norma ASTM D4791.



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : Ensayo de resistencia a la peladura.
Norma : AASHTO T 182

Lugar de muestreo: Planta Trituradora - Stock

Material : Mezcla Asfáltica en Caliente
18% (3/4" Tamuga)+21% (3/8" Tamuga)+31% (3/8"
Procedencia: Cochancay)+30% (Arena Cochancay)

Fecha de Muestreo : 10/04/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro

Abscisa: -

Peso de la muestra (g) :	939		
% de Asfalto óptimo:	6.1		
Aditivo :	ZYCOTHERM		
	Porcentaje de peladura	Observación	Especificación
Sin Aditivo	80%	No cumple	> 95%
Con Aditivo	3%	Si cumple	< 5 %



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA

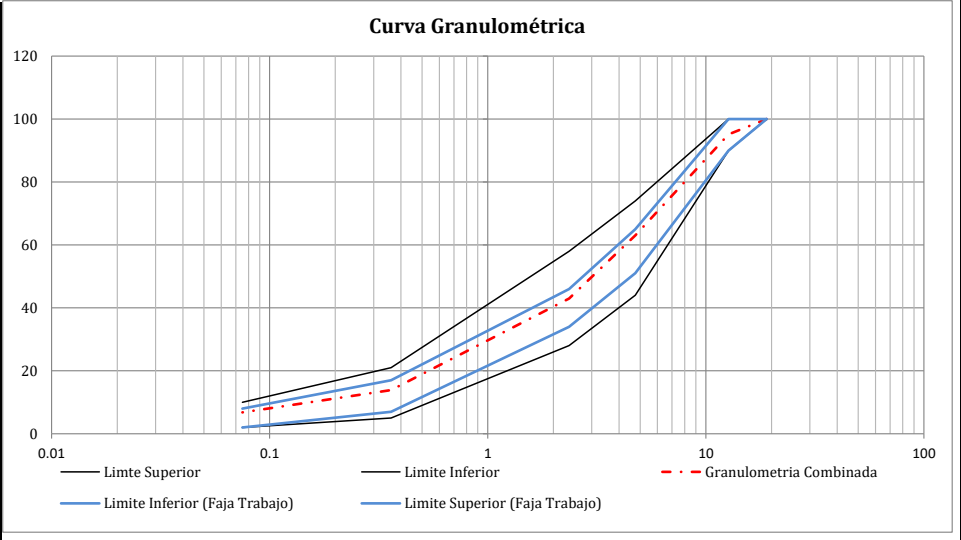
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS

FISCALIZACION: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo: Planta Trituradora - Stock
Norma : ASTM D 6927-15	Material : Mezcla Asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo : 10/04/2017	Procedencia: 18% (3/4" Tamuga)+21% (3/8" Tamuga)+31% (3/8" Cochancay)+30% (Arena Cochancay)
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel	Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro
Revisado por : Ing. Cristian Flores	Abscisa: -

AGREGADOS			DOSIFICAC. EN % Agreg	Gse	% Pa	Briquet #	PESOS			Volumen cm3	Densidad		PORC. EN VOLUMEN			VAM	VFA	% Asfal. Efectivo	ESTABILIDAD			FLUJO (mm)	FLUJO (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	1257.6	1258.0	731.7	526.3	2.390	ASTM D-2041							2754	0.96	2644	2.90	11.4
3/8	52	2.65	49.02			2	1258.0	1258.3	731.2	527.1	2.387								2645	0.96	2539	3.20	12.6
Arena	30	2.57	28.28			3	1227.0	1227.5	713.1	514.4	2.385								2541	1.00	2541	3.25	12.8
Asfalto	6.1	1.010	5.73																				
TOTAL	106.1	2.62	100.00	2.71	1.34	Prom.					2.387	2.472	86.01	3.43	10.56	14	75	4.47			2575		12.3
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5		> 14	65-78				>1800		8-14

2.- ENSAYO DE EXTRACCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA							
MÉTODO DE LA ASTM D 2172							
Peso muestra inicial, g				1000.0			
Peso muestra final (luego de lavado), g				938.8			
Peso de filtro inicial, g				17.40			
Peso de filtro final, g				18.10			
Peso atrapado en filtro, g				0.70			
Contenido de betún asfáltico en %				6.05			
Relación filler / betún				1.12		0.8 ≤ F/B ≤ 1.2	
3.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (NTE INEN 696:2011)							
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo	
3/4				100	100.00	100-00	
1/2		45.70	5	95	90-100	90-100	
3/8		100.40	11	89	79-94	79-93	
No.4		347.40	37	63	44-74	51-65	
No. 8		535.90	57	43	28-58	34-46	
No.16		658.90	70	30	20-45	23-35	
No.30		753.30	80	20	13-34	14-24	
No.50		809.00	86	14	5-21	7-17	
No.100		855.00	91	9	4-16	4-11	
No.200		875.60	93	7	2-10	2-8	
Pasa No. 200		63.90					



	VALORES OBTENIDOS		NORMA ASTM D6927-15 / INVIAS 450-13	
	Estabilidad	Flujo	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	59.90	0.76	-	-
Coficiente de variación	2.33	6.17	≤ 6	≤ 9
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	375.6		[300 - 500]	

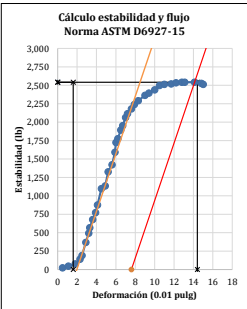


PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo:	Planta Trituradora - Stock
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material :	Mezcla Asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	10/04/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	18% (3/4" Tamuga)+21% (3/8" Tamuga)+31% (3/8" Cochancay)+30% (Arena Cochancay)
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	-

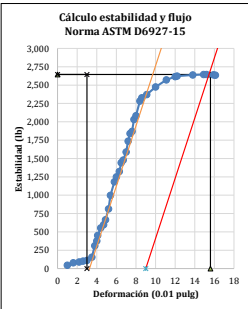
ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

BRIQUETA N° 1				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	pulg	
1	5	0.5	23	
2	11	1.1	46	
3	18	1.8	76	
4	23	2.3	140	
5	25	2.5	191	
6	29	2.9	368	
7	32	3.2	493	
8	33	3.3	567	
9	36	3.6	678	
10	39	3.9	773	
11	41	4.1	876	
12	45	4.5	1097	
13	49	4.9	1134	
14	52	5.2	1326	
15	56	5.6	1421	
16	59	5.9	1591	
17	60	6.0	1723	
18	62	6.2	1775	
19	65	6.5	1893	
20	67	6.7	1952	
21	70	7.0	2062	
22	72	7.2	2114	
23	76	7.6	2180	
24	79	7.9	2239	
25	83	8.3	2291	
26	90	9.0	2364	
27	94	9.4	2394	
28	100	10.0	2438	
29	105	10.5	2497	
30	110	11.0	2512	
31	117	11.7	2519	
32	122	12.2	2534	
33	128	12.8	2541	
34	131	13.1	2541	
35	141	14.1	2541	
36	148	14.8	2526	
37	150	15.0	2512	



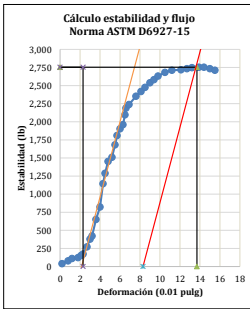
Estabilidad (lb)	2541
Flujo (0.01 pulg)	12.8

BRIQUETA N° 2				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	pulg	
1	10	1.0	45	
2	16	1.6	78	
3	22	2.2	90	
4	26	2.6	102	
7	30	3.0	111	
8	35	3.5	155	
9	38	3.8	310	
10	40	4.0	377	
11	41	4.1	451	
12	44	4.4	554	
13	47	4.7	590	
14	49	4.9	665	
15	52	5.2	813	
16	54	5.4	997	
17	58	5.8	1182	
18	60	6.0	1249	
19	63	6.3	1323	
20	65	6.5	1441	
21	67	6.7	1478	
22	70	7.0	1588	
23	72	7.2	1736	
24	74	7.4	1840	
25	76	7.6	1869	
26	78	7.8	2032	
27	80	8.0	2083	
28	84	8.4	2283	
29	86	8.6	2327	
30	91	9.1	2372	
31	100	10.0	2475	
32	111	11.1	2571	
33	120	12.0	2615	
34	122	12.2	2623	
35	138	13.8	2638	
36	149	14.9	2645	
37	152	15.2	2645	
38	159	15.9	2640	
39	161	16.1	2635	



Estabilidad (lb)	2645
Flujo (0.01 pulg)	12.6

BRIQUETA N° 3				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	pulg	
1	2	0.2	40	
2	8	0.8	78	
3	12	1.2	111	
4	18	1.8	123	
5	21	2.1	152	
6	23	2.3	172	
7	27	2.7	272	
8	30	3.0	379	
9	32	3.2	422	
10	36	3.6	651	
11	40	4.0	823	
12	43	4.3	1145	
13	45	4.5	1288	
14	48	4.8	1452	
15	52	5.2	1509	
16	55	5.5	1681	
17	57	5.7	1810	
18	60	6.0	1903	
19	63	6.3	1960	
20	65	6.5	2096	
21	66	6.6	2189	
22	69	6.9	2239	
23	76	7.6	2353	
24	81	8.1	2418	
25	85	8.5	2475	
26	90	9.0	2539	
27	94	9.4	2582	
28	98	9.8	2632	
29	105	10.5	2682	
30	112	11.2	2711	
31	121	12.1	2718	
32	127	12.7	2733	
33	132	13.2	2747	
34	139	13.9	2754	
35	144	14.4	2754	
36	150	15.0	2733	
37	155	15.5	2711	



Estabilidad (lb)	2754
Flujo (0.01 pulg)	11.4



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA

CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS

REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm)

Norma : ASTM D 2041-00

Fecha de Muestreo : 10/04/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Planta Trituradora - Stock

Material : Mezcla Asfáltica en Caliente

Procedencia: 18% (3/4" Tamuga)+21% (3/8" Tamuga)+31% (3/8" Cochancay)+30% (Arena Cochancay)

Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro

Abscisa: -

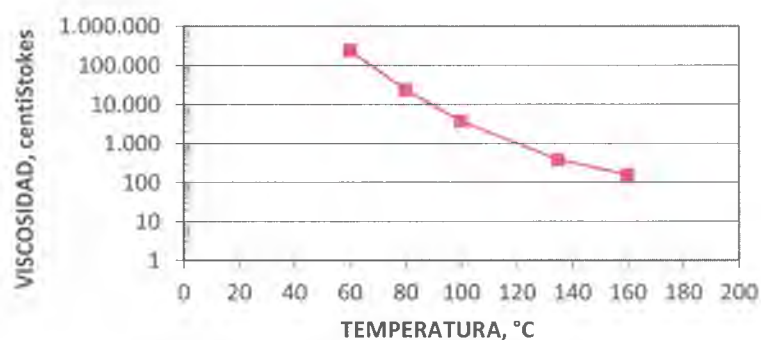
A	Peso del material (g)	400.00
B	Peso picnómetro + agua (g)	1415.04
C	Peso picnómetro + agua + material (g)	1653.22
Gmm = $\frac{A}{(A + B - C)}$ =		2.472

RELACIÓN VISCOSIDAD - TEMPERATURA

Identificación de la Muestra
Entidad que Solicita Ensayos
Tipo de Muestra
Fecha de toma de la muestra
Fecha de Reporte

PROYECTO: GUALACEO - LIMON
CONSORCIO GUAPLAN
REFINERÍA DE ESMERALDAS
3 de marzo de 2017
Guayaquil, 30 de marzo de 2017

Temperatura (°C)	Viscosidad (centiStokes)
60	241.516,7
80	23.796,1
100	3.782,8
135	381,2
160	160,6



TEMPERATURAS DE TRABAJO:

MEZCLADO (170 +/- 20 centiStokes):

157 a 161 °C

COMPACTACIÓN (280 +/- 30 centiStokes):

142 a 148 °C

Densidad del asfalto = 1,014

Responsable:



Ing. Rolando Vila Romaní, PhD
30-mar-2017

Identificación de la Muestra
Entidad que Solicita Ensayos
Tipo de Muestra
Fecha de toma de la muestra
Fecha de Reporte

PROYECTO: GUALACEO - LIMÓN
CONSORCIO GUAPLAN
REFINERÍA DE ESMERALDAS
3 de marzo de 2017
Guayaquil, 30 de marzo de 2017

PLACA: TANQUE 1

				NTE INEN 2515:2010 / Enmienda 1			
PROPIEDAD	NORMA	UNIDAD	RESULTADO	AC 20		AC 30	
				Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Penetración, 25 °C, 100g.,5s.	ASTM D-5	0.1 mm	69				
Punto de Ablandamiento A y B	ASTM D-36	°C	50,2				
Indice de Penetración	NLT 181	-	-0,4	-1,5	+1,0	-1,5	+1,0
Gravedad Específica, 25 °C/25 °C	ASTM D-70	-	1,014	Informe		Informe	
Flash Point, Copa Cleveland	ASTM D-92	°C	280	232		232	
Viscosidad Dinámica 60 °C	ASTM D-4402	Pa.s	240,0	160	240	240	360
Viscosidad Cinemática, 135 °C	ASTM D 2170	mm ² s ⁻¹	381,2	300		350	
Solubilidad en Tricloroetileno	ASTM D-2042	%w		99		99	
ENVEJECIMIENTO RTFOT							
Pérdida de masa	ASTM D-1754	%w/w	0,5		1,0		1,0
Penetración, 25 °C, 100g.,5s.	ASTM D-5	0.1 mm					
% Penetración del Envejecido		%					
Ductilidad,25°C, 5cm/min	ASTM D 113	cm	48	50		40	
Viscosidad Dinámica 60 °C	ASTM D 4402	Pa.s	983		800		1.200

Responsable:

Ing. Rolando Vila Romani, PhD
30-mar-2017



RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA

ANEXO 2:

ENSAYOS DE LABORATORIO PARA CONTROL DE CALIDAD EN BRIQUETAS



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL

Norma : ASTM D 6927 - 15

Fecha de Muestreo : 27/04/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan

Material : Mezcla Asfáltica en Caliente

Procedencia: Planta de Producción la Josefina

Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan

Abscisa : 0+420

Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad					
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Ect				Flujo		Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)		
																			lb	F.C.			lb	
3/4	18	2.60	16.97			1	1164.0	1165.0	674.0	491.0	2.371	ASTM D-2041							2330	1.09	2540	3.35	13.2	
3/8	52	2.65	49.01			2	1156.0	1158.0	668.0	490.0	2.359									2200	1.09	2398	2.85	11.2
Arena	30	2.57	28.28			3	1167.0	1169.0	679.0	490.0	2.382									2300	1.09	2507	3.30	13.0
Asfalto	6.1	1.014	5.75																					
Total	106.1	2.617	100.00	2.70	1.21	Prom.					2.370	2.465	85.39	3.83	10.78	15	4.61	74			2482		12.5	
OBSERVACIONES:						ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002								3-5		> 14		65-78			>1800		8-14	

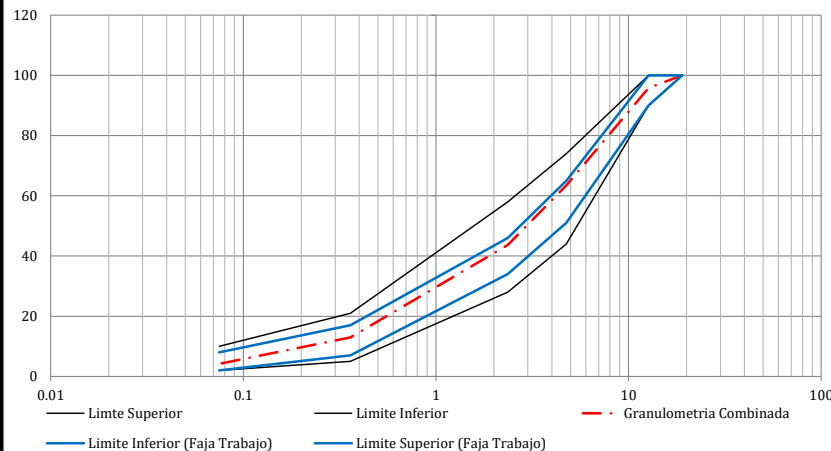
Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g			1200.0			
Peso muestra final (luego de lavado), g			1125.0			
Peso de filtro inicial, g			22.59			
Peso de filtro final, g			23.13			
Peso atrapado en filtro, g			0.54			
Contenido de betún asfáltico en %			6.21		0.8 ≤ F/B ≤ 1.2	
Relación filler / betún			0.91			
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	47.00	47.00	4.18	96	90-100	90-100
3/8	70.00	117.00	10.40	90		
No.4	294.00	411.00	36.53	63	44-74	51-65
No. 8	223.00	634.00	56.36	44	28-58	34-46
No.16	151.00	785.00	69.78	30		
No.30	111.00	896.00	79.64	20		
No.50	83.00	979.00	87.02	13	5-21	7-17
No.100	65.00	1,044.00	92.80	7		
No.200	34.00	1,078.00	95.82	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	47.00					

Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

Según INVIAS Norma E - 748, las mezclas asfálticas deben tener relaciones estabilidad/flujo de entre 300 y 600 kg/mm.

	Estabilidad	Flujo	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	74.19	1.08	-	-
Coefficiente de variación	2.99	8.70	≤ 6	≤ 9
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	356.2		[300 - 500]	

Curva Granulométrica





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL

Norma : ASTM D 6927 - 15

Fecha de Muestreo : 27/04/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan

Material : Mezcla asfáltica en Caliente

Procedencia : Planta de Producción la Josefina

Destino : Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan

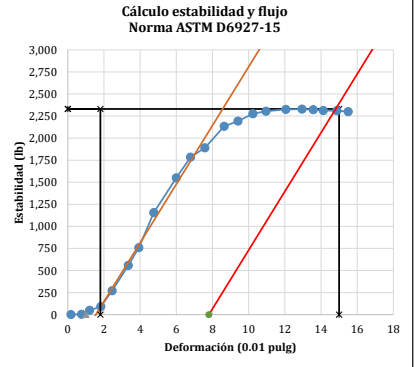
Abscisa : 0+420

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

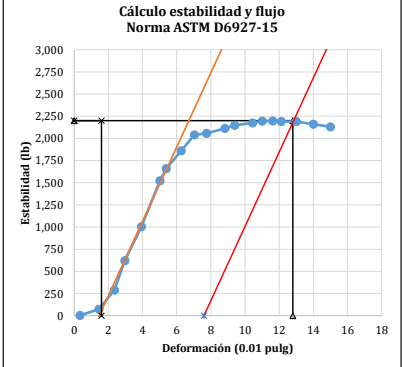
BRIQUETA N° 1			
Lectura #	Deformación		Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	2	0.2	1
2	8	0.8	4
3	12	1.2	48
4	18	1.8	92
5	24	2.4	270
6	33	3.3	557
7	39	3.9	758
8	48	4.8	1156
9	60	6.0	1550
10	68	6.8	1785
11	76	7.6	1889
12	86	8.6	2134
13	94	9.4	2193
14	102	10.2	2276
15	110	11.0	2304
16	121	12.1	2325
17	130	13.0	2328
18	136	13.6	2322
19	141	14.1	2313
20	149	14.9	2310
21	155	15.5	2300

BRIQUETA N° 2			
Lectura #	Deformación		Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	3	0.3	2
2	14	1.4	72
3	24	2.4	288
4	30	3.0	621
5	39	3.9	1003
6	50	5.0	1522
7	54	5.4	1658
8	63	6.3	1860
9	70	7.0	2040
10	77	7.7	2056
11	88	8.8	2113
12	94	9.4	2148
13	104	10.4	2175
14	110	11.0	2195
15	116	11.6	2196
16	121	12.1	2190
17	130	13.0	2190
18	140	14.0000	2160
19	150	15.0000	2130

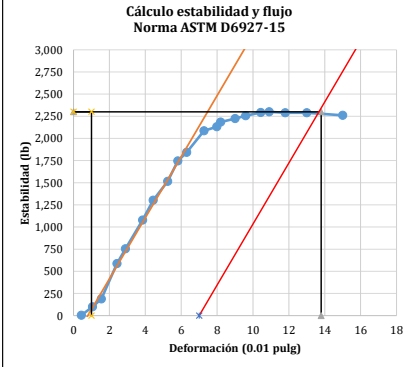
BRIQUETA N° 3			
Lectura #	Deformación		Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	4	0.4	4
2	11	1.1	99
3	16	1.6	188
4	24	2.4	587
5	29	2.9	754
6	39	3.9	1078
7	44	4.4	1303
8	52	5.2	1515
9	58	5.8	1746
10	63	6.3	1843
11	73	7.3	2086
12	80	8.0	2132
13	82	8.2	2185
14	90	9.0	2224
15	96	9.6	2256
16	104	10.4	2293
17	109	10.9	2300
18	118	11.8	2289
19	130	13.0	2289
20	150	15.0	2260



Estabilidad (lb)	2330
Flujo (0.01 pulg)	13.2



Estabilidad (lb)	2200
Flujo (0.01 pulg)	11.2



Estabilidad (lb)	2300
Flujo (0.01 pulg)	13.0



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm)

Norma : ASTM D 2041-00

Fecha de Muestreo : 27/04/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo-Plan de Milagro Acceso Guazhalán

Material : Mezcla asfáltica en Caliente

Procedencia: Planta de Producción La Josefina

Destino: -

Abscisa: 0+420

A Peso del material (g)

400.00

B Peso picnómetro+agua (g)

1409.60

C Peso picnómetro +agua+material (g)

1647.35

$$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} =$$

2.465



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL

Norma : ASTM D 6927 - 15

Fecha de Muestreo : 28/04/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan

Material : Mezcla Asfáltica en Caliente

Procedencia : Planta de Producción la Josefina

Destino : Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan

Abscisa : 0+684

Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA					
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb	Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
3/4	18	2.60	16.97			1	1236.0	1241.0	715.0	526.0	2.350	ASTM D-2041							2725	0.96	2616	3.30	13.0
3/8	52	2.65	49.01			2	1258.0	1260.0	721.0	539.0	2.334								2855	0.93	2655	3.30	13.0
Arena	30	2.57	28.28			3	1278.0	1280.0	745.0	535.0	2.389								2750	0.96	2640	3.10	12.2
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.617	100.00	2.72	1.46	Prom.					2.358		2.479	84.92	4.90	10.18	15	4.38	68			2637	
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5		> 14		65-78			>1800		8-14

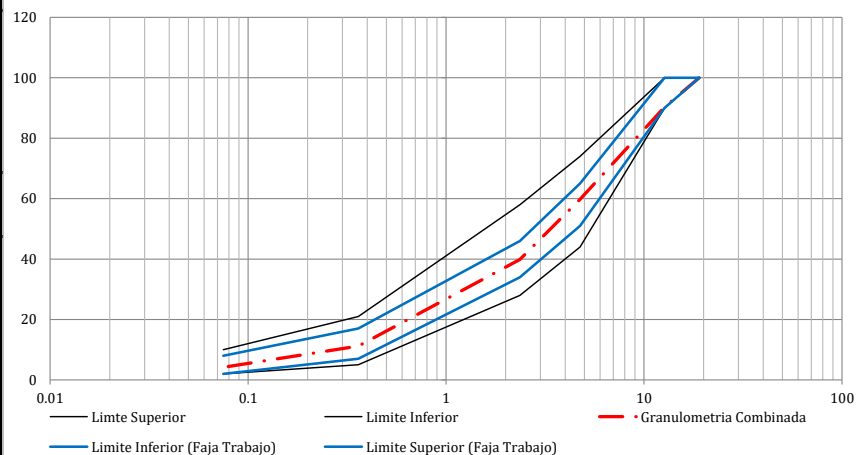
Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1200.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				1124.0		
Peso de filtro inicial, g				22.97		
Peso de filtro final, g				23.54		
Peso atrapado en filtro, g				0.57		
Contenido de betún asfáltico en %				6.29		0.8 ≤ F/B ≤ 1.2
Relación filler / betún				0.96		
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100.00	100.00	100.00
1/2	109.00	109.00	9.70	90.30	90-100	90-100
3/8	136.00	245.00	21.80	78.20		
No.4	207.00	452.00	40.21	59.79	44-74	51-65
No. 8	224.00	676.00	60.14	39.86	28-58	34-46
No.16	188.00	864.00	76.87	23.13		
No.30	88.00	952.00	84.70	15.30		
No.50	46.00	998.00	88.79	11.21	5-21	7-17
No.100	44.00	1,042.00	92.70	7.30		
No.200	35.00	1,077.00	95.82	4.18	2-10	2-8
Pasa No. 200	47.00					

Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

Según INVIAS Norma E - 748, las mezclas asfálticas deben tener relaciones estabilidad/flujo de entre 300 y 600 kg/mm.

	Estabilidad	Flujo	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	10.71	0.45	-	-
Coefficiente de variación	0.41	3.57	≤ 6	≤ 9
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	370.7		[300 - 500]	

Curva Granulométrica





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

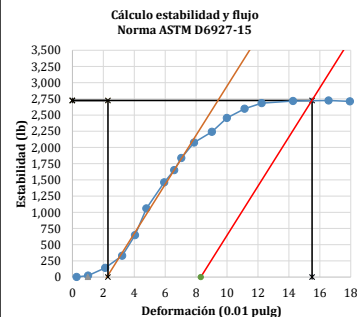
Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material :	Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	28/04/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	0+684

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

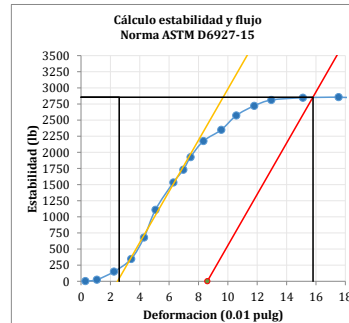
BRIQUETA N° 1			
Lectura #	Deformación		Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	3	0.3	2
2	10	1.0	23
3	21	2.1	143
4	32	3.2	330
5	40	4.0	647
6	48	4.8	1058
7	59	5.9	1462
8	66	6.6	1651
9	70	7.0	1837
10	79	7.9	2076
11	90	9.0	2242
12	100	10.0	2454
13	111	11.1	2597
14	122	12.2	2683
15	143	14.3	2717
16	166	16.6	2725
17	179	17.9	2711

BRIQUETA N° 2			
Lectura #	Deformación		Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	3	0.3	2
2	11	1.1	24
3	22	2.2	150
4	34	3.4	345
5	43	4.3	678
6	51	5.1	1109
7	63	6.3	1531
8	70	7.0	1730
9	75	7.5	1925
10	83	8.3	2175
11	95	9.5	2349
12	106	10.6	2571
13	118	11.8	2721
14	130	13.0	2811
15	151	15.1	2847
16	175	17.5	2855
17	190	19.0	2840

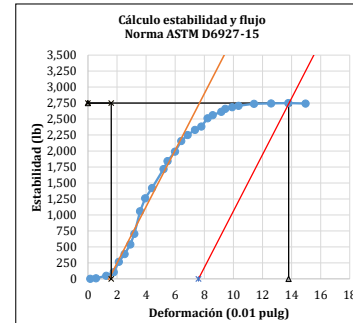
BRIQUETA N° 3			
Lectura #	Deformación		Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	2	0.2	3
2	6	0.6	10
3	13	1.3	49
4	18	1.8	105
5	21	2.1	268
6	25	2.5	388
7	29	2.9	538
8	32	3.2	705
9	36	3.6	1059
10	39	3.9	1261
11	44	4.4	1421
12	52	5.2	1717
13	55	5.5	1843
14	60	6.0	1990
15	64	6.4	2158
16	69	6.9	2250
17	74	7.4	2331
18	78	7.8	2383
19	82	8.2	2512
20	86	8.6	2562
21	92	9.2	2613
22	94	9.4	2660
23	99	9.9	2687
24	104	10.4	2707
25	114	11.4	2739
26	126	12.6	2746
27	138	13.8	2750
28	150	15.0	2742



Estabilidad (lb)	2725
Flujo (0.01 pulg)	13.0



Estabilidad (lb)	2855
Flujo (0.01 pulg)	13.0



Estabilidad (lb)	2750
Flujo (0.01 pulg)	12.2



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm)

Norma : *ASTM D 2041-00*

Fecha de Muestreo : 28/04/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo-Plan de Milagro Acceso Guazhalán

Material : Mezcla asfáltica en Caliente

Procedencia: Planta de Producción La Josefina

Destino: -

Abscisa: 0+684

A Peso del material (g) 400.00

B Peso picnómetro+agua (g) 1413.50

C Peso picnómetro +agua+material (g) 1652.15

$$\text{Gmm} = \frac{A}{(A + B - C)} = 2.479$$



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material :	Mezcla Asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	29/04/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	0+993

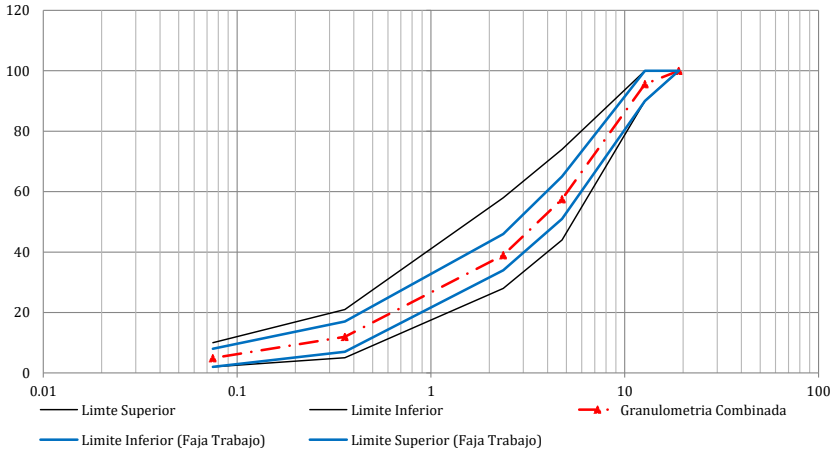
Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Ect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	1259.0	1259.0	731.0	528.0	2.384	ASTM D-2041							2350	0.96	2256	3.35	13.2
3/8	52	2.65	49.01			2	1224.0	1224.0	709.0	515.0	2.377								2470	1.00	2470	3.30	13.0
Arena	30	2.57	28.28			3	1250.0	1250.0	727.0	523.0	2.390								2400	0.96	2304	3.10	12.2
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.617	100.00	2.72	1.54	Prom.					2.384	2.484	85.87	4.04	10.10	14	4.30	71			2343		12.8
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5		> 14		65-78			>1800		8-14

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1000.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				936.0		
Peso de filtro inicial, g				20.80		
Peso de filtro final, g				23.00		
Peso atrapado en filtro, g				2.20		
Contenido de betún asfáltico en %				6.18		
Relación filler / betún				1.14		0.8 ≤ F/B ≤ 1.2
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	41.00	41.00	4.38	96	90-100	90-100
3/8	108.00	149.00	15.92	84		
No.4	249.00	398.00	42.52	57	44-74	51-65
No. 8	173.00	571.00	61.00	39	28-58	34-46
No.16	106.00	677.00	72.33	28		
No.30	84.00	761.00	81.30	19		
No.50	63.00	824.00	88.03	12	5-21	7-17
No.100	46.00	870.00	92.95	7		
No.200	20.00	890.00	95.09	5	2-10	2-8
Pasa No. 200	46.00					

Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.
Según INVIAS Norma E - 748, las mezclas asfálticas deben tener relaciones estabilidad/flujo de entre 300 y 600 kg/mm.

	Estabilidad	Flujo	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	112.29	0.52	-	-
Coefficiente de variación	4.79	4.07	≤ 6	≤ 9
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	327.7		[300 - 500]	

Curva Granulométrica





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927 - 15

Fecha de Muestreo : 29/04/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

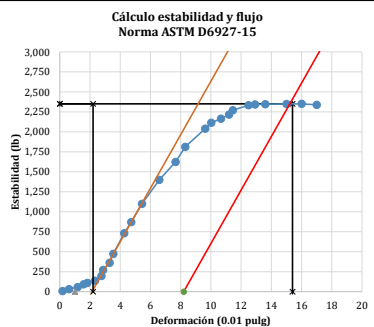
Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Material : Mezcla asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Abscisa : 0+993

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

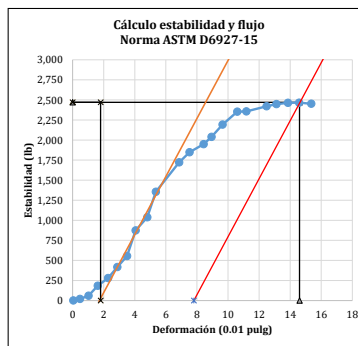
BRIQUETA N° 1			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01 pulg	
#			
1	2	0.2	7
2	6	0.6	31
3	12	1.2	58
4	16	1.6	93
5	18	1.8	110
6	23	2.3	137
7	28	2.8	196
8	29	2.9	271
9	33	3.3	362
10	35	3.5	474
11	43	4.3	731
12	47	4.7	870
13	54	5.4	1099
14	66	6.6	1400
15	77	7.7	1624
16	83	8.3	1813
17	96	9.6	2040
18	100	10.0	2113
19	107	10.7	2164
20	112	11.2	2216
21	115	11.5	2271
22	125	12.5	2332
23	129	12.9	2343
24	136	13.6	2346
25	150	15.0	2349
26	160	16.0	2350
27	170	17.0	2338

BRIQUETA N° 2			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01 pulg	
#			
1	0	0.0	1
2	5	0.5	21
3	10	1.0	60
4	16	1.6	185
5	23	2.3	280
6	29	2.9	417
7	35	3.5	555
8	41	4.1	874
9	48	4.8	1038
10	54	5.4	1355
12	69	6.9	1722
13	75	7.5	1848
14	84	8.4	1948
15	89	8.9	2039
16	96	9.6	2193
17	106	10.6	2354
18	112	11.2	2357
20	125	12.5	2421
21	131	13.1	2447
22	139	13.9	2463
23	146	14.6	2466
24	154	15.4	2453

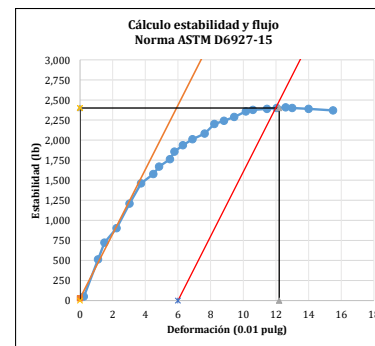
BRIQUETA N° 3			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01 pulg	
#			
1	2	0.2	50
2	11	1.1	513
3	15	1.5	723
4	22	2.2	902
5	30	3.0	1208
6	37	3.7	1461
7	45	4.5	1577
8	48	4.8	1670
9	55	5.5	1763
10	58	5.8	1856
11	63	6.3	1937
12	69	6.9	2011
13	76	7.6	2082
14	82	8.2	2201
15	88	8.8	2241
16	94	9.4	2288
17	102	10.2	2358
18	106	10.6	2376
19	115	11.5	2390
20	120	12.0	2401
21	126	12.6	2408
22	130	13.0000	2400
23	140	14.0000	2390
24	155	15.5000	2370



Estabilidad (lb)	2350
Flujo (0.01 pulg)	13.2



Estabilidad (lb)	2470
Flujo (0.01 pulg)	13.0



Estabilidad (lb)	2400
Flujo (0.01 pulg)	12.2



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm)

Norma : ASTM D 2041-00

Fecha de Muestreo : 29/04/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo-Plan de Milagro Acceso Guazhalán

Material : Mezcla asfáltica en Caliente

Procedencia: Planta de Producción La Josefina

Destino: -

Abscisa: 0+993

A Peso del material (g)

400.00

B Peso picnómetro+agua (g)

1415.20

C Peso picnómetro +agua+material (g)

1654.15

$$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} =$$

2.484



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927 - 15

Fecha de Muestreo : 02/05/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Material : Mezcla asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Abscisa : 0+241

Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	1267.4	1268.1	734.5	533.6	2.375								2480	0.96	2381	3.15	12.4
3/8	52	2.65	49.01			2	1262.5	1263.1	724.6	538.5	2.344								2760	0.93	2567	3.05	12.0
Arena	30	2.57	28.28			3	1229.2	1231.8	697.6	534.2	2.301								2550	0.96	2448	3.25	12.8
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.617	100.00	2.70	1.16	Prom.					2.340	2.462	84.30	4.95	10.76	16	4.66	68			2465		12.4

OBSERVACIONES:

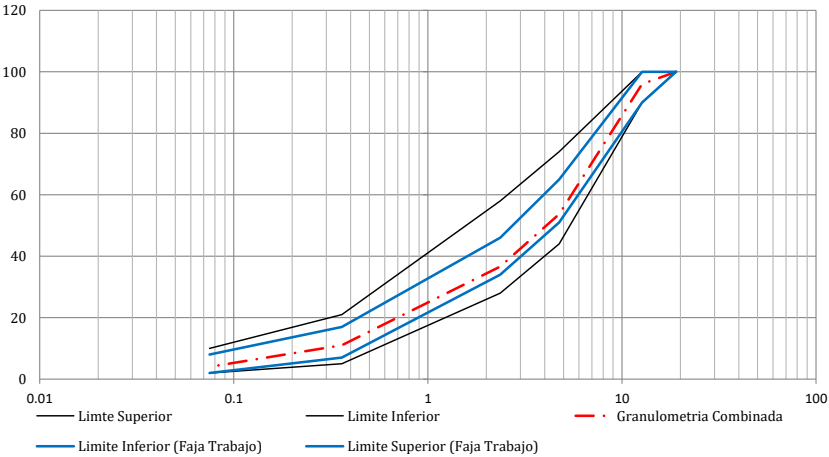
ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1200.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				1125.0		
Peso de filtro inicial, g				21.90		
Peso de filtro final, g				23.20		
Peso atrapado en filtro, g				1.30		
Contenido de betún asfáltico en %				6.14		
Relación filler / betún				0.9		0.8 ≤ F/B ≤ 1.2
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100.00	100.00	100.00
1/2	45.00	45.00	4.00	96	90-100	90-100
3/8	90.00	135.00	12.00	88		
No.4	386.00	521.00	46.31	54	44-74	51-65
No. 8	192.00	713.00	63.38	37	28-58	34-46
No.16	187.00	900.00	80.00	20		
No.30	56.00	956.00	84.98	15		
No.50	45.00	1,001.00	88.98	11	5-21	7-17
No.100	57.00	1,058.00	94.04	6		
No.200	22.00	1,080.00	96.00	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	45.00					

Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.
Según INVIAS Norma E - 748, las mezclas asfálticas deben tener relaciones estabilidad/flujo de entre 300 y 600 kg/mm, según el tránsito.

	Estabilidad	Flujo	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	94.19	0.39	-	-
Coefficiente de variación	4	3	≤ 6	≤ 9
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	355.7		[300 - 500]	

Curva Granulométrica





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927 - 15
Fecha de Muestreo : 02/05/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

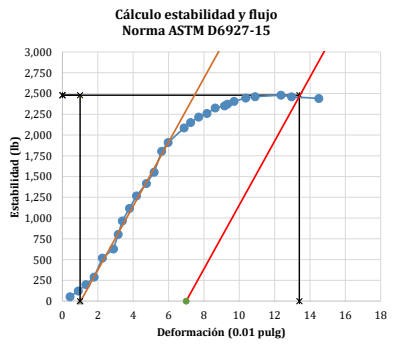
Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymínca
Material : Mezcla asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymínca
Abscisa : 0+241

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

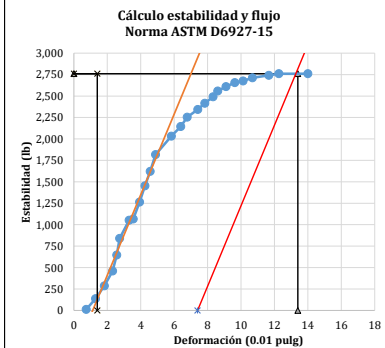
BRIQUETA N° 1			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	4	0.4	52
2	9	0.9	122
3	13	1.3	198
4	18	1.8	290
5	23	2.3	518
6	29	2.9	628
7	32	3.2	804
8	34	3.4	966
9	38	3.8	1116
10	42	4.2	1268
11	48	4.8	1417
12	52	5.2	1552
13	56	5.6	1804
14	60	6.0	1910
15	69	6.9	2086
16	72	7.2	2151
17	77	7.7	2217
18	82	8.2	2261
19	86	8.6	2326
20	92	9.2	2352
21	93	9.3	2372
22	97	9.7	2406
23	104	10.4	2445
24	109	10.9	2462
25	124	12.4	2480
26	130	13.0	2460
27	145	14.5	2440

BRIQUETA N° 2			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	7	0.7	12
2	13	1.3	137
3	18	1.8	287
4	23	2.3	460
5	26	2.6	646
6	27	2.7	840
7	33	3.3	1052
8	35	3.5	1066
9	39	3.9	1264
10	43	4.3	1453
11	46	4.6	1621
12	49	4.9	1817
13	58	5.8	2033
14	64	6.4	2144
15	68	6.8	2254
16	74	7.4	2343
17	78	7.8	2415
18	83	8.3	2492
19	86	8.6	2558
20	91	9.1	2610
21	96	9.6	2657
22	101	10.1	2676
23	107	10.7	2712
24	117	11.7	2742
25	123	12.3	2760
26	140	14.0	2760

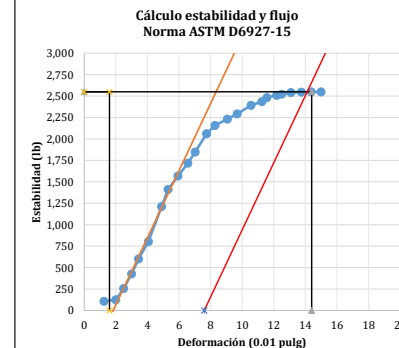
BRIQUETA N° 3			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	13	1.3	107
2	20	2.0	125
3	25	2.5	256
4	30	3.0	427
5	34	3.4	602
6	41	4.1	804
7	49	4.9	1213
8	53	5.3	1412
9	59	5.9	1569
10	66	6.6	1719
11	70	7.0	1848
12	78	7.8	2062
13	83	8.3	2158
14	91	9.1	2232
15	97	9.7	2293
16	106	10.6	2393
17	113	11.3	2435
18	116	11.6	2482
19	122	12.2	2509
20	125	12.5	2522
21	131	13.1	2541
22	138	13.8	2546
23	144	14.4	2550
24	150	15.0	2549



Estabilidad (lb)	2480
Flujo (0.01 pulg)	12.4



Estabilidad (lb)	2760
Flujo (0.01 pulg)	12.0



Estabilidad (lb)	2550
Flujo (0.01 pulg)	12.8



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm)

Norma : ASTM D 2041-00

Fecha de Muestreo : 02/05/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo-Plan de Milagro Acceso Huaymincay

Material : Mezcla asfáltica en Caliente

Procedencia: Planta de Producción La Josefina

Destino: -

Abscisa: 0+241

A Peso del material (g)

400.00

B Peso picnómetro+agua (g)

1407.85

C Peso picnómetro +agua+material (g)

1645.35

$$\text{Gmm} = \frac{A}{(A + B - C)} =$$

2.462



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927 - 15
Fecha de Muestreo : 02/05/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Material : Mezcla asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Abscisa : 0+465

Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Ect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	1238.0	1239.0	720.0	519.0	2.385	ASTM D-2041							2300	1.00	2300	3.02	11.9
3/8	52	2.65	49.01			2	1316.0	1316.0	767.0	549.0	2.397								2610	0.89	2323	3.25	12.8
Arena	30	2.57	28.28			3	1412.0	1413.0	821.0	592.0	2.385								2750	0.81	2228	2.98	11.7
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.605	100.00	2.74	1.92	Prom.					2.389	2.463	86.44	3.00	10.56	14	3.94	78			2283		12.1
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5		> 14		65-78			>1800		8-14

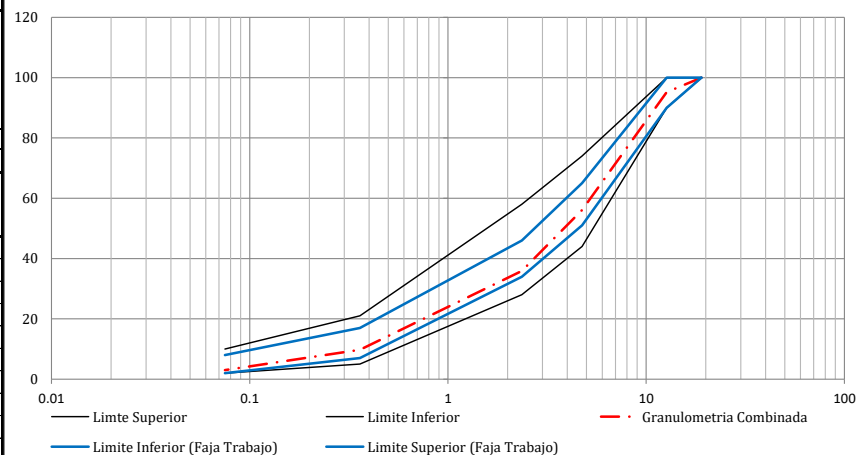
Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1200.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				1128.0		
Peso de filtro inicial, g				22.10		
Peso de filtro final, g				23.10		
Peso atrapado en filtro, g				1.00		
Contenido de betún asfáltico en %				5.92		
Relación filler / betún				0.8		
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100.00	100.00	100.00
1/2	54.00	54.00	4.79	95.21	90-100	90-100
3/8	108.00	162.00	14.36	85.64		
No.4	333.00	495.00	43.88	56.12	44-74	51-65
No. 8	228.00	723.00	64.10	35.90	28-58	34-46
No.16	163.00	886.00	78.55	21.45		
No.30	80.00	966.00	85.64	14.36		
No.50	52.00	1,018.00	90.25	9.75	5-21	7-17
No.100	49.00	1,067.00	94.59	5.41		
No.200	27.00	1,094.00	96.99	3.01	2-10	2-8
Pasa No. 200	34.00					

Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

Según INVIAS Norma E - 748, las mezclas asfálticas deben tener relaciones estabilidad/flujo de entre 300 y 600 kg/mm, según el tránsito.

	Estabilidad	Flujo	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	49.80	0.57	-	-
Coefficiente de variación	2.18	4.73	≤ 6	≤ 9
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	336.6		[300 - 500]	

Curva Granulométrica





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927 - 15
Fecha de Muestreo : 02/05/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

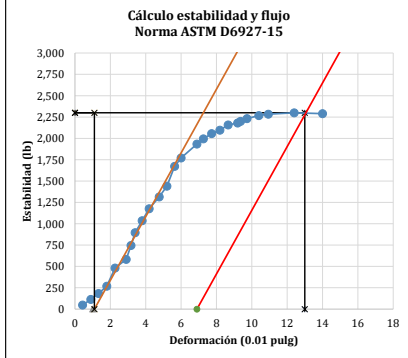
Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Material : Mezcla asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Abscisa : 0+465

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

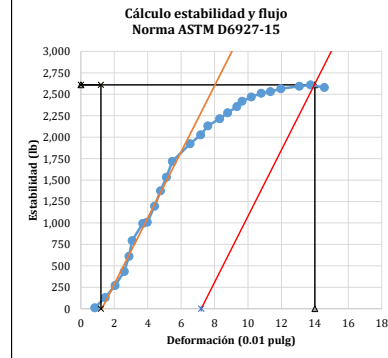
BRIQUETA N° 1			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	4	0.4	48
2	9	0.9	113
3	13	1.3	184
4	18	1.8	269
5	23	2.3	481
6	29	2.9	582
7	32	3.2	745
8	34	3.4	896
9	38	3.8	1035
10	42	4.2	1176
11	48	4.8	1314
12	52	5.2	1440
13	56	5.6	1673
14	60	6.0	1771
15	69	6.9	1934
16	73	7.3	1995
17	77	7.7	2056
18	82	8.2	2096
19	87	8.7	2157
20	92	9.2	2181
21	94	9.4	2200
22	97	9.7	2231
23	104	10.4	2268
24	109	10.9	2283
25	124	12.4	2300
26	140	14.0	2290

BRIQUETA N° 2			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	8	0.8	11
2	15	1.5	130
3	20	2.0	271
4	26	2.6	435
5	29	2.9	611
6	31	3.1	794
7	37	3.7	995
8	40	4.0	1008
9	44	4.4	1195
10	48	4.8	1374
11	51	5.1	1533
12	55	5.5	1718
13	65	6.5	1923
14	72	7.2	2027
15	76	7.6	2132
16	83	8.3	2216
17	88	8.8	2284
18	93	9.3	2357
19	96	9.6	2419
20	102	10.2	2468
21	108	10.8	2513
22	113	11.3	2531
23	120	12.0	2565
24	131	13.1	2593
25	137	13.7	2610
26	146	14.6	2579

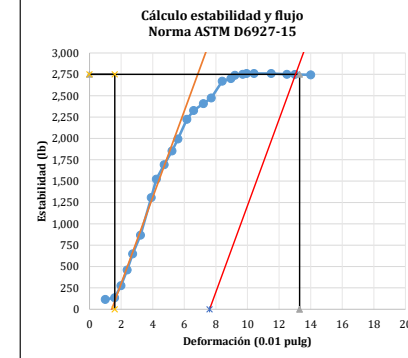
BRIQUETA N° 3			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	10	1.0	115
2	16	1.6	135
3	20	2.0	276
4	24	2.4	460
5	27	2.7	649
6	32	3.2	867
7	39	3.9	1308
8	42	4.2	1523
9	47	4.7	1692
10	52	5.2	1854
11	56	5.6	1993
12	62	6.2	2224
13	66	6.6	2327
14	72	7.2	2407
15	77	7.7	2473
16	84	8.4	2670
17	90	9.0	2700
18	92	9.2	2740
19	97	9.7	2750
20	99	9.9	2760
21	104	10.4	2760
22	115	11.5	2760
23	125	12.5	2750
24	130	13.0	2749
25	140	14.0	2744



Estabilidad (lb)	2300
Flujo (0.01 pulg)	11.9



Estabilidad (lb)	2610
Flujo (0.01 pulg)	12.8



Estabilidad (lb)	2750
Flujo (0.01 pulg)	11.7



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm)

Norma : ASTM D 2041-00

Fecha de Muestreo : 02/05/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo-Plan de Milagro Acceso Huaymincay

Material : Mezcla asfáltica en Caliente

Procedencia: Planta de Producción La Josefina

Destino: -

Abscisa: 0+465

A Peso del material (g)

400.00

B Peso picnómetro+agua (g)

1409.50

C Peso picnómetro +agua+material (g)

1647.09

$$\text{Gmm} = \frac{A}{(A + B - C)} =$$

2.463



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927 - 15
Fecha de Muestreo : 03/05/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Material : Mezcla asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Abscisa : 0+765

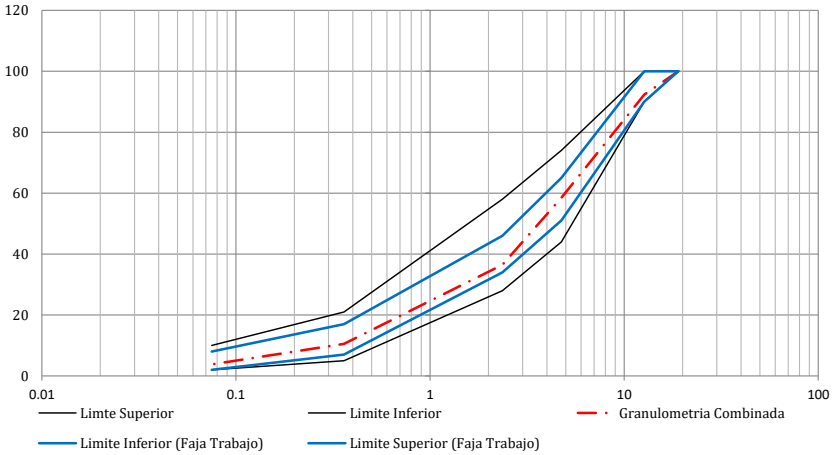
Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Ect.				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	1285.2	1286.9	739.9	547.0	2.350	ASTM D-2041							2715	0.89	2416	3.55	14.0
3/8	52	2.65	49.01			2	1282.8	1284.2	741.8	542.4	2.365								2810	0.93	2613	3.50	13.8
Arena	30	2.57	28.28			3	1294.2	1295.8	746.9	548.9	2.358								2790	0.89	2483	3.40	13.4
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.617	100.00	2.68	0.96	Prom.					2.357	2.451	84.92	3.82	11.26	15	4.85	75			2504		13.7
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5		> 14		65-78			>1800		8-14

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1200.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				1129.1		
Peso de filtro inicial, g				22.50		
Peso de filtro final, g				23.80		
Peso atrapado en filtro, g				1.30		
Contenido de betún asfáltico en %				5.80		0.8 ≤ F/B ≤ 1.2
Relación filler / betún				0.8		
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100.00	100.00	100-00
1/2	86.60	86.60	7.67	92	90-100	90-100
3/8	68.80	155.40	13.76	86		
No.4	313.60	469.00	41.54	58	44-74	51-65
No. 8	248.10	717.10	63.51	36	28-58	34-46
No.16	133.40	850.50	75.33	25		
No.30	91.40	941.90	83.42	17		
No.50	68.60	1,010.50	89.50	11	5-21	7-17
No.100	56.30	1,066.80	94.48	6		
No.200	19.50	1,086.30	96.21	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	42.80					

Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.
Según INVIAS Norma E - 748, las mezclas asfálticas deben tener relaciones estabilidad/flujo de entre 300 y 600 kg/mm, según el tránsito.

	Estabilidad	Flujo	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	100.16	0.30	-	-
Coefficiente de variación	4	2	≤ 6	≤ 9
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	326.8		[300 - 500]	

Curva Granulométrica





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL

Norma : ASTM D 6927 - 15

Fecha de Muestreo : 03/05/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay

Material : Mezcla asfáltica en Caliente

Procedencia: Planta de Producción la Josefina

Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay

Abscisa : 0+765

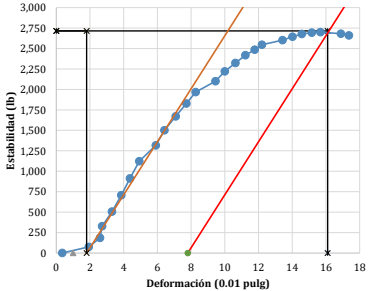
ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

BRIQUETA N° 1			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	4	0.4	1
2	19	1.9	75
3	26	2.6	186
4	27	2.7	328
5	33	3.3	507
6	39	3.9	707
7	44	4.4	913
8	49	4.9	1122
9	59	5.9	1317
10	64	6.4	1501
11	71	7.1	1671
12	77	7.7	1828
13	83	8.3	1968
14	94	9.4	2100
15	100	10.0	2221
16	106	10.6	2324
17	112	11.2	2418
18	118	11.8	2485
19	122	12.2	2546
20	134	13.4	2603
21	140	14.0	2644
22	146	14.6	2678
23	152	15.2	2693
24	157	15.7	2700
25	169	16.9	2680
26	174	17.4	2660

BRIQUETA N° 2			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	15	1.5	33
2	20	2.0	98
3	25	2.5	187
4	30	3.0	306
5	35	3.5	466
6	39	3.9	656
7	45	4.5	871
8	51	5.1	1098
9	57	5.7	1325
10	65	6.5	1542
11	71	7.1	1738
12	77	7.7	1925
13	82	8.2	2078
14	89	8.9	2213
15	94	9.4	2316
16	105	10.5	2438
17	110	11.0	2525
18	117	11.7	2612
19	126	12.6	2719
20	137	13.7	2757
21	142	14.2	2785
22	154	15.4	2818
23	159	15.9	2813

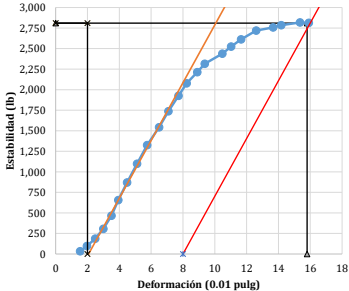
BRIQUETA N° 3			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	8	0.8	33
2	24	2.4	432
3	28	2.8	609
4	33	3.3	804
5	43	4.3	1009
6	44	4.4	1207
7	51	5.1	1386
8	56	5.6	1566
9	61	6.1	1732
10	71	7.1	1877
11	78	7.8	2013
12	83	8.3	2131
13	88	8.8	2235
14	94	9.4	2333
15	98	9.8	2482
16	108	10.8	2491
17	114	11.4	2557
18	118	11.8	2610
19	124	12.4	2660
20	135	13.5	2709
21	140	14.0	2744
22	150	15.0	2770
23	160	16.0	2781
24	173	17.3	2790

Cálculo estabilidad y flujo
Norma ASTM D6927-15



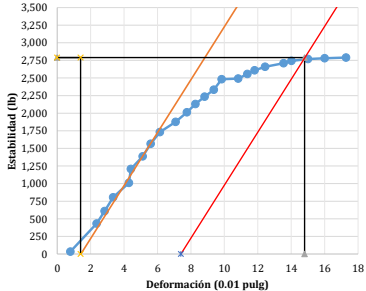
Estabilidad (lb)	2715
Flujo (0.01 pulg)	14.0

Cálculo estabilidad y flujo
Norma ASTM D6927-15



Estabilidad (lb)	2810
Flujo (0.01 pulg)	13.8

Cálculo estabilidad y flujo
Norma ASTM D6927-15



Estabilidad (lb)	2790
Flujo (0.01 pulg)	13.4



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA													
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS													
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez													
Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm)	Lugar de muestreo: Vía Gualaceo-Plan de Milagro Acceso Huaymincay Material : Mezcla asfáltica en Caliente Procedencia: Planta de Producción La Josefina Destino: - Abscisa: 0+765												
Norma : ASTM D 2041-00													
Fecha de Muestreo : 03/05/2017													
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel													
Revisado por : Ing. Cristian Flores													
<table><tr><td>A</td><td>Peso del material (g)</td><td>400.00</td></tr><tr><td>B</td><td>Peso picnómetro+agua (g)</td><td>1408.11</td></tr><tr><td>C</td><td>Peso picnómetro +agua+material (g)</td><td>1644.89</td></tr><tr><td colspan="2">$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} =$</td><td>2.451</td></tr></table>		A	Peso del material (g)	400.00	B	Peso picnómetro+agua (g)	1408.11	C	Peso picnómetro +agua+material (g)	1644.89	$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} =$		2.451
A	Peso del material (g)	400.00											
B	Peso picnómetro+agua (g)	1408.11											
C	Peso picnómetro +agua+material (g)	1644.89											
$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} =$		2.451											



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL

Norma : ASTM D 6927 - 15

Fecha de Muestreo : 03/05/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay

Material : Mezcla asfáltica en Caliente

Procedencia: Planta de Producción la Josefina

Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay

Abscisa : 1+080

Agregados		P.E. Neto (Bulk)	Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total						Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Ect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	1271.2	1272.1	735.0	537.1	2.367	ASTM D-2041							2650	0.93	2465	3.45	13.6
3/8	52	2.65	49.01			2	1227.3	1228.3	710.2	518.1	2.369								2505	1.00	2505	3.15	12.4
Arena	30	2.57	28.28			3	1246.1	1247.6	719.2	528.4	2.358								2740	0.96	2630	3.20	12.6
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.617	100.00	2.70	1.17	Prom.					2.365	2.463	85.18	3.99	10.83	15	4.64	73			2533		12.9
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5		> 14		65-78			>1800		8-14

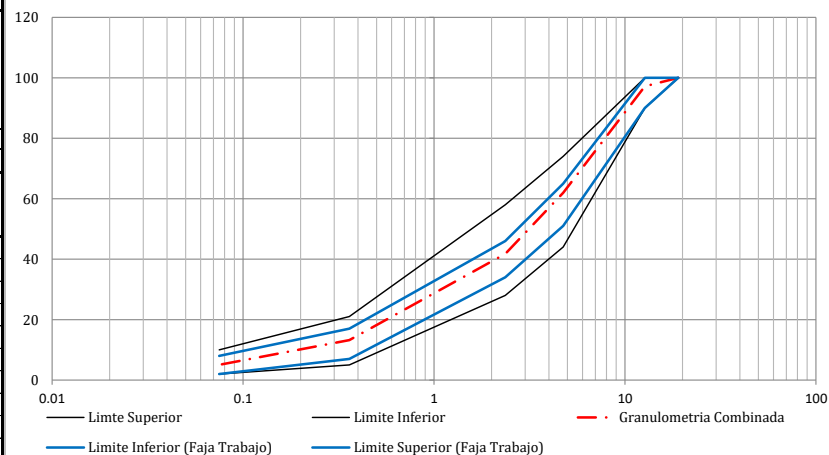
Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g			1200.0		0.8 ≤ F/B ≤ 1.2	
Peso muestra final (luego de lavado), g			1124.8			
Peso de filtro inicial, g			21.30			
Peso de filtro final, g			22.50			
Peso atrapado en filtro, g			1.20			
Contenido de betún asfáltico en %			6.17			
Relación filler / betún			1.1			
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	32.00	32.00	2.84	97	90-100	90-100
3/8	57.00	89.00	7.91	92		
No.4	339.00	428.00	38.05	62	44-74	51-65
No.8	227.00	655.00	58.23	42	28-58	34-46
No.16	147.00	802.00	71.30	29		
No.30	103.00	905.00	80.46	20		
No.50	71.00	976.00	86.77	13	5-21	7-17
No.100	63.00	1,039.00	92.37	8		
No.200	29.00	1,068.00	94.95	5	2-10	2-8
Pasa No. 200	56.80					

Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

Según INVIAS Norma E - 748, las mezclas asfálticas deben tener relaciones estabilidad/flujo de entre 300 y 600 kg/mm, según el tránsito.

	Estabilidad	Flujo	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	86.49	0.63	-	-
Coefficiente de variación	3	5	≤ 6	≤ 9
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	352.5		[300 - 500]	

Curva Granulométrica





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL

Norma : ASTM D 6927 - 15

Fecha de Muestreo : 03/05/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay

Material : Mezcla asfáltica en Caliente

Procedencia: Planta de Producción la Josefina

Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay

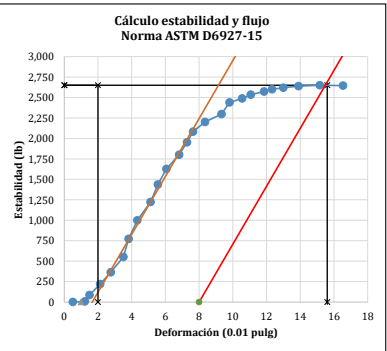
Abscisa : 1+080

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

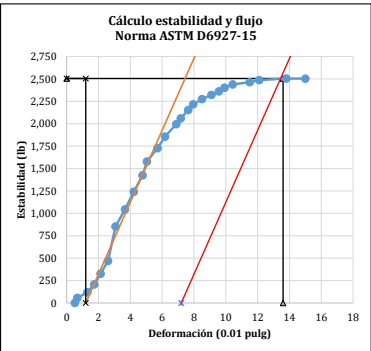
BRIQUETA N° 1			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	5	0.5	1
2	12	1.2	8
3	15	1.5	87
4	21	2.1	219
5	28	2.8	364
6	35	3.5	551
7	38	3.8	773
8	43	4.3	998
9	51	5.1	1224
10	56	5.6	1437
11	61	6.1	1627
12	68	6.8	1801
13	73	7.3	1953
14	76	7.6	2082
15	83	8.3	2201
16	93	9.3	2297
17	98	9.8	2440
18	106	10.6	2488
19	111	11.1	2535
20	119	11.9	2573
21	123	12.3	2601
22	130	13.0	2620
23	139	13.9	2640
24	152	15.2	2650
25	165	16.5	2646

BRIQUETA N° 2			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	5	0.5	1
2	7	0.7	57
3	13	1.3	121
4	17	1.7	208
5	21	2.1	327
6	26	2.6	470
7	31	3.1	853
8	37	3.7	1044
9	42	4.2	1241
10	48	4.8	1425
11	50	5.0	1578
12	57	5.7	1727
13	62	6.2	1856
14	69	6.9	1995
15	72	7.2	2060
16	76	7.6	2153
17	80	8.0	2215
18	85	8.5	2274
19	91	9.1	2321
20	96	9.6	2361
21	99	9.9	2402
22	104	10.4	2439
23	115	11.5	2463
24	121	12.1	2487
25	138	13.8	2505
26	150	15.0	2503

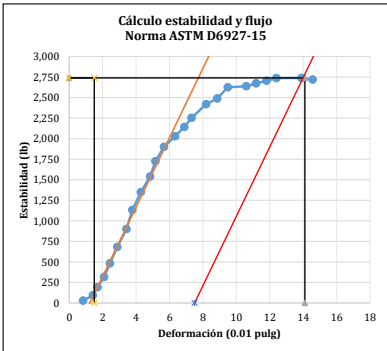
BRIQUETA N° 3			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	8	0.8	28
2	14	1.4	95
3	17	1.7	192
4	21	2.1	317
5	24	2.4	482
6	29	2.9	681
7	34	3.4	900
8	38	3.8	1132
9	43	4.3	1349
10	48	4.8	1540
11	52	5.2	1724
12	57	5.7	1900
13	63	6.3	2030
14	69	6.9	2143
15	73	7.3	2253
16	82	8.2	2419
17	89	8.9	2491
18	95	9.5	2625
19	106	10.6	2638
20	112	11.2	2674
21	118	11.8	2706
22	124	12.4	2738
23	139	13.9	2740
24	146	14.6	2721



Estabilidad (lb)	2650
Flujo (0.01 pulg)	13.6



Estabilidad (lb)	2505
Flujo (0.01 pulg)	12.4



Estabilidad (lb)	2740
Flujo (0.01 pulg)	12.6



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm)

Norma : ASTM D 2041-00

Fecha de Muestreo : 03/05/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo-Plan de Milagro Acceso Huaymincay

Material : Mezcla asfáltica en Caliente

Procedencia: Planta de Producción La Josefina

Destino: -

Abscisa: 1+080

A Peso del material (g)

400.00

B Peso picnómetro+agua (g)

1409.50

C Peso picnómetro +agua+material (g)

1647.09

$$\text{Gmm} = \frac{A}{(A + B - C)} =$$

2.463



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material :	Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	04/05/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	1+423

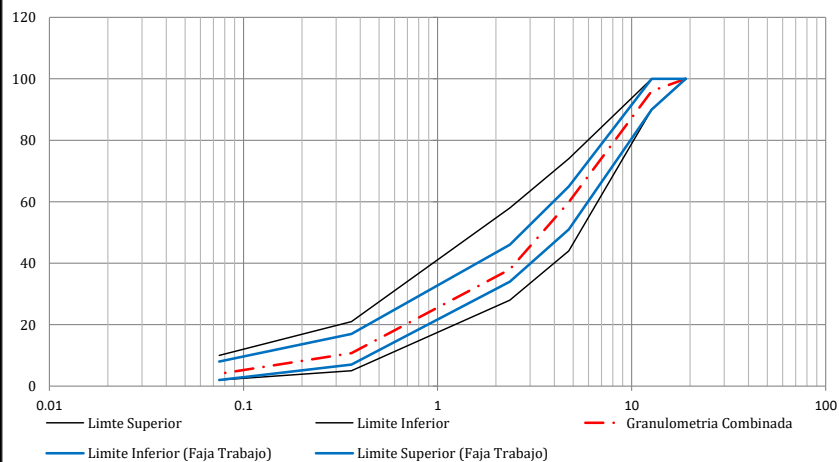
Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	1197.7	1198.5	696.9	501.6	2.388	ASTM D-2041							2550	1.04	2652.0	3.45	13.6
3/8	52	2.65	49.01			2	1228.9	1229.7	710.4	519.3	2.366								2450	1.00	2450.0	3.35	13.2
Arena	30	2.57	28.28			3	1230.3	1231.1	712.6	518.5	2.373								2660	1.00	2660.0	3.35	13.2
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.617	100.00	2.70	1.26	Prom.					2.376	2.468	85.58	3.74	10.68	14	4.56	74			2587		13.3
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5		> 14		65-78			>1800		8-14

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1200.0		0.8 ≤ F/B ≤ 1.2
Peso muestra final (luego de lavado), g				1124.0		
Peso de filtro inicial, g				21.70		
Peso de filtro final, g				23.10		
Peso atrapado en filtro, g				1.40		
Contenido de betún asfáltico en %				6.22		
Relación filler / betún				0.9		
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100.00	100.00	100.00
1/2	45.00	45.00	4.00	96	90-100	90-100
3/8	90.00	135.00	12.01	88		
No.4	316.00	451.00	40.12	60	44-74	51-65
No. 8	246.00	697.00	62.01	38	28-58	34-46
No.16	113.00	810.00	72.06	28		
No.30	100.00	910.00	80.96	19		
No.50	93.00	1,003.00	89.23	11	5-21	7-17
No.100	54.00	1,057.00	94.04	6		
No.200	22.00	1,079.00	96.00	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	45.00					

Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.
Según INVIAS Norma E - 748, las mezclas asfálticas deben tener relaciones estabilidad/flujo de entre 300 y 600 kg/mm, según el tránsito.

	Estabilidad	Flujo	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	119.00	0.23	-	-
Coefficiente de variación	5	2	≤ 6	≤ 9
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	347.6		[300 - 500]	

Curva Granulométrica





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

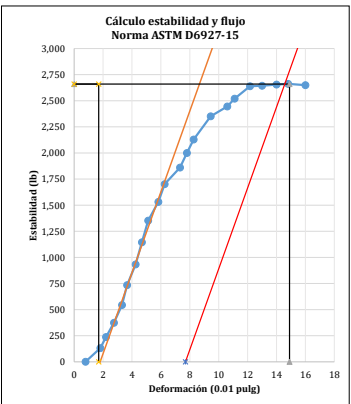
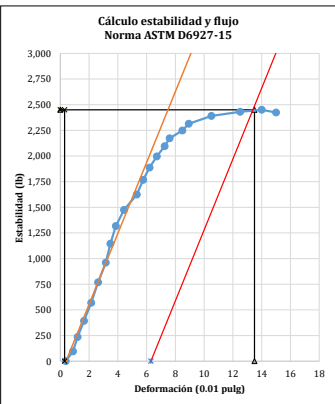
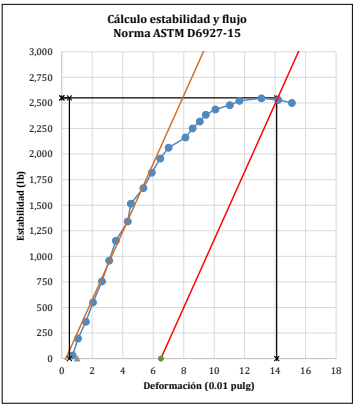
Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo: Via Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material : Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	04/05/2017	Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lah. Ignacio Rengel	Destino: Via Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa : 1+423

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

BRIQUETA N° 1				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01	pulg	
1	7	0.7		30
2	11	1.1		196
3	16	1.6		360
4	20	2.0		549
5	26	2.6		755
6	31	3.1		958
7	35	3.5		1153
8	43	4.3		1341
9	45	4.5		1515
10	54	5.4		1668
11	59	5.9		1818
12	65	6.5		1956
13	70	7.0		2063
14	81	8.1		2162
15	86	8.6		2251
16	91	9.1		2319
17	94	9.4		2384
18	101	10.1		2437
19	110	11.0		2478
20	117	11.7		2521
21	131	13.1		2546
22	142	14.2		2530
23	151	15.1		2500

BRIQUETA N° 2				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01	pulg	
1	4	0.4		1
2	9	0.9		95
3	12	1.2		236
4	16	1.6		393
5	22	2.2		570
6	26	2.6		769
7	32	3.2		961
8	35	3.5		1145
9	39	3.9		1317
10	44	4.4		1474
11	53	5.3		1624
12	58	5.8		1767
13	62	6.2		1887
14	67	6.7		1996
15	73	7.3		2095
16	76	7.6		2172
17	85	8.5		2248
18	89	8.9		2314
19	105	10.5		2390
20	125	12.5		2431
21	140	14.0		2450
22	150	15.0		2424

BRIQUETA N° 3				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01	pulg	
1	8	0.8		1
2	18	1.8		131
3	22	2.2		238
4	28	2.8		374
5	33	3.3		544
6	37	3.7		735
7	43	4.3		933
8	47	4.7		1145
9	51	5.1		1352
10	58	5.8		1532
11	63	6.3		1702
12	73	7.3		1860
13	78	7.8		2000
14	83	8.3		2129
15	94	9.4		2351
16	106	10.6		2445
17	111	11.1		2520
18	122	12.2		2639
19	130	13.0		2644
20	140	14.0		2655
21	148	14.8		2662
22	160	16.0		2650





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA

CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS

REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm)	Lugar de muestreo: Vía Gualaceo-Plan de Milagro Acceso Huaymincay Material : Mezcla asfáltica en Caliente Procedencia: Planta de Producción La Josefina Destino: - Abscisa: 1+423
Norma : ASTM D 2041-00	
Fecha de Muestreo : 04/05/2017	
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel	
Revisado por : Ing. Cristian Flores	

A Peso del material (g)	400.00
--------------------------------	--------

B Peso picnómetro+agua (g)	1405.67
-----------------------------------	---------

C Peso picnómetro +agua+material (g)	1643.58
---	---------

$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} =$	2.468
---------------------------------	-------



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927 - 15
Fecha de Muestreo : 04/05/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhazan
Material : Mezcla Asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Abscisa : 1+723

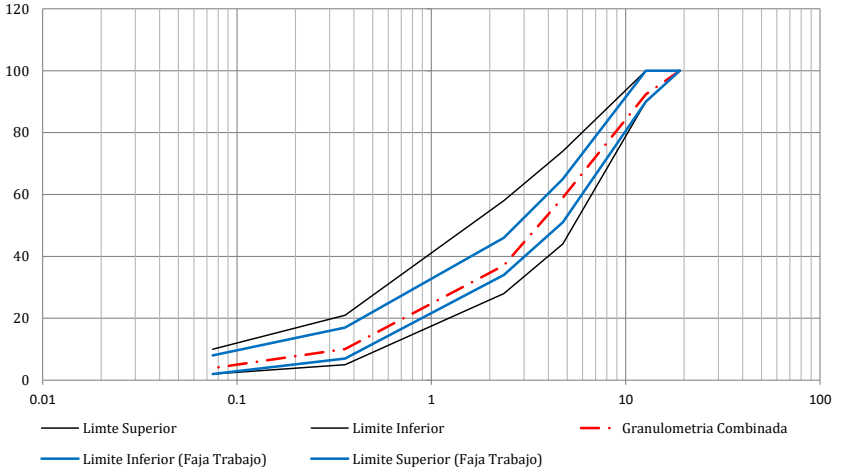
Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Ectf				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	1234.7	1242.3	714.9	527.4	2.341	ASTM D-2041							2285	0.96	2194	3.55	14.0
3/8	52	2.65	49.01			2	1209.5	1215.9	700.0	515.9	2.344								2230	1.00	2230	3.30	13.0
Arena	30	2.57	28.28			3	1183.0	1187.2	685.0	502.2	2.356								2190	1.04	2278	3.20	12.6
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.617	100.00	2.70	1.23	Prom.					2.347	2.466	84.54	4.82	10.63	15	4.59	69			2234		13.2
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5		> 14		65-78			>1800		8-14

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1200.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				1128.3		
Peso de filtro inicial, g				22.40		
Peso de filtro final, g				23.70		
Peso atrapado en filtro, g				1.30		
Contenido de betún asfáltico en %				5.87		
Relación filler / betún				0.8		
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100.00	100.00	100-00
1/2	86.00	86.00	7.62	92	90-100	90-100
3/8	79.00	165.00	14.62	85		
No.4	298.00	463.00	41.04	59	44-74	51-65
No. 8	247.00	710.00	62.93	37	28-58	34-46
No.16	138.00	848.00	75.16	25		
No.30	97.00	945.00	83.75	16		
No.50	70.00	1,015.00	89.96	10	5-21	7-17
No.100	57.00	1,072.00	95.01	5		
No.200	12.40	1,084.40	96.11	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	43.90					

Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.
Según INVIAS Norma E - 748, las mezclas asfálticas deben tener relaciones estabilidad/flujo de entre 300 y 600 kg/mm, según el tránsito.

	Estabilidad	Flujo	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	42.12	0.71	-	-
Coefficiente de variación	2	5	≤ 6	≤ 9
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	303.1		[300 - 500]	

Curva Granulométrica





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927 - 15
Fecha de Muestreo : 04/05/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

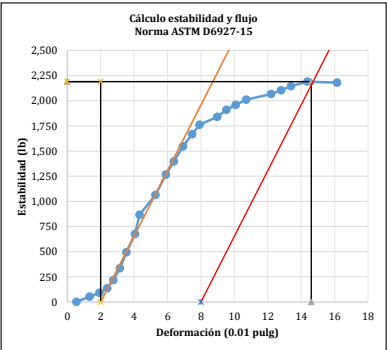
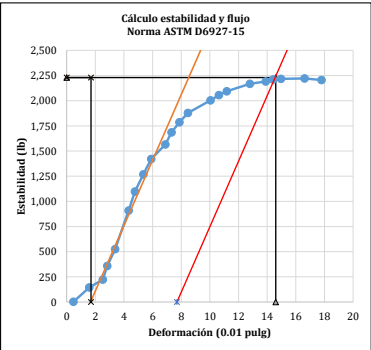
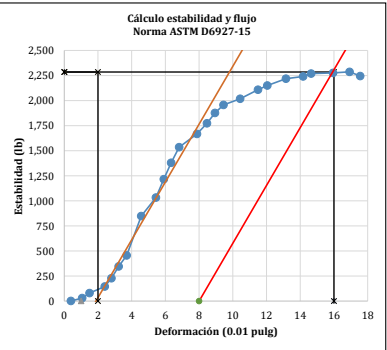
Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Material : Mezcla asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Abscisa : 1+723

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

BRIQUETA N° 1			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	4	0.4	1
2	11	1.1	30
3	15	1.5	80
4	24	2.4	145
5	28	2.8	228
6	32	3.2	345
7	37	3.7	455
8	46	4.6	848
9	54	5.4	1033
10	59	5.9	1216
11	63	6.3	1380
12	68	6.8	1535
13	79	7.9	1667
14	85	8.5	1774
15	89	8.9	1877
16	94	9.4	1957
17	104	10.4	2018
18	115	11.5	2109
19	120	12.0	2150
20	131	13.1	2218
21	142	14.2	2241
22	146	14.6	2269
23	159	15.9	2276
24	169	16.9	2287
25	176	17.6	2245

BRIQUETA N° 2			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	5	0.5	2
2	16	1.6	145
3	25	2.5	223
4	28	2.8	358
5	34	3.4	525
6	43	4.3	908
7	48	4.8	1098
8	54	5.4	1269
9	59	5.9	1421
10	69	6.9	1566
11	73	7.3	1686
12	79	7.9	1786
13	85	8.5	1878
14	100	10.0	2003
15	106	10.6	2056
16	112	11.2	2093
17	128	12.8	2168
18	139	13.9	2191
19	144	14.4	2211
20	150	15.0	2218
21	166	16.6	2221
22	178	17.8	2205

BRIQUETA N° 3			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	6	0.6	1
2	13	1.3	53
3	19	1.9	91
4	24	2.4	137
5	28	2.8	218
6	31	3.1	335
7	35	3.5	494
8	41	4.1	675
9	43	4.3	867
10	53	5.3	1064
11	59	5.9	1266
12	64	6.4	1397
13	69	6.9	1546
14	75	7.5	1668
15	79	7.9	1761
16	90	9.0	1840
17	95	9.5	1910
18	101	10.1	1959
19	107	10.7	2010
20	122	12.2	2067
21	128	12.8	2105
22	134	13.4	2145
23	144	14.4	2190
24	161	16.1	2180





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm)

Norma : ASTM D 2041-00

Fecha de Muestreo : 04/05/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo-Plan de Milagro Acceso Huaymincay

Material : Mezcla asfáltica en Caliente

Procedencia: Planta de Producción La Josefina

Destino: -

Abscisa: 1+723

A Peso del material (g)

400.00

B Peso picnómetro+agua (g)

1405.60

C Peso picnómetro +agua+material (g)

1643.41

$$\text{Gmm} = \frac{A}{(A + B - C)} =$$

2.466



RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA

ANEXO 3:

ENSAYOS DE LABORATORIO EN NÚCLEOS EXTRAÍDOS A LOS 30 DÍAS



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm)

Norma : ASTM D 2041-00

Fecha de Muestreo : 06/06/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo-Plan de Milagro Acceso Huaymincay

Material : Mezcla asfáltica (Extraída en Bloque 30x30 cm)

Procedencia: Planta de Producción La Josefina

Destino: -

Abscisa: 0+500

A Peso del material (g)

400.00

B Peso picnómetro+agua (g)

1411.00

C Peso picnómetro +agua+material (g)

1648.24

$$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} =$$

2.458



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm)	Lugar de muestreo: Vía Gualaceo-Plan de Milagro Acceso Huaymincay Material : Mezcla asfáltica (Extraída en Bloque 30x30 cm) Procedencia: Planta de Producción La Josefina Destino: - Abscisa: 1+100
Norma : ASTM D 2041-00	
Fecha de Muestreo : 06/06/2017	
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel	
Revisado por : Ing. Cristian Flores	

A Peso del material (g)	400.00
--------------------------------	--------

B Peso picnómetro+agua (g)	1411.60
-----------------------------------	---------

C Peso picnómetro +agua+material (g)	1649.84
---	---------

$$\text{Gmm} = \frac{A}{(A + B - C)} = 2.473$$



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA													
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS													
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez													
Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm)	Lugar de muestreo: Vía Gualaceo-Plan de Milagro Acceso Guazhalán Material : Mezcla asfáltica (Extraída en Bloque 30x30 cm) Procedencia: Planta de Producción La Josefina Destino: - Abscisa: 0+470												
Norma : ASTM D 2041-00													
Fecha de Muestreo : 06/06/2017													
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel													
Revisado por : Ing. Cristian Flores													
<table><tr><td>A</td><td>Peso del material (g)</td><td>400.00</td></tr><tr><td>B</td><td>Peso picnómetro+agua (g)</td><td>1411.60</td></tr><tr><td>C</td><td>Peso picnómetro +agua+material (g)</td><td>1648.39</td></tr><tr><td colspan="2">Gmm = $\frac{A}{(A + B - C)}$ =</td><td>2.451</td></tr></table>		A	Peso del material (g)	400.00	B	Peso picnómetro+agua (g)	1411.60	C	Peso picnómetro +agua+material (g)	1648.39	Gmm = $\frac{A}{(A + B - C)}$ =		2.451
A	Peso del material (g)	400.00											
B	Peso picnómetro+agua (g)	1411.60											
C	Peso picnómetro +agua+material (g)	1648.39											
Gmm = $\frac{A}{(A + B - C)}$ =		2.451											



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL		Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan Material : Mezcla Asfáltica en Caliente Procedencia: Planta de Producción la Josefina Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan Abscisa : 0+420
Norma : ASTM D 6927		
Fecha de Tendido :	27/04/2017	
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	
Fecha de Extracción: 05/06/2017		
de Núcleos		

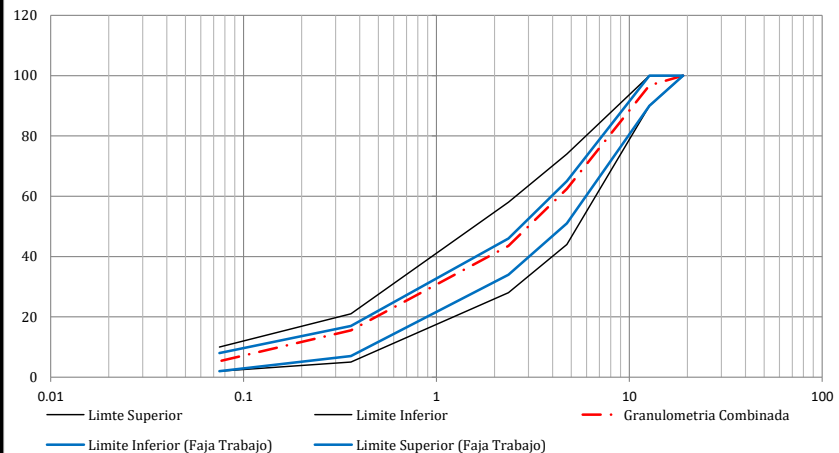
Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.F. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	1133.2	1133.8	659.2	474.6	2.388	ASTM D-2041							2620	1.14	2987		22.4
3/8	52	2.65	49.01			2	1117.8	1118.6	651.5	467.1	2.393								2510	1.19	2987		19.7
Arena	30	2.57	28.28			3	1136.0	1136.6	661.0	475.6	2.389								2420	1.14	2759		20.1
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.617	100.00	2.70	1.21	Prom.					2.390	2.465	86.08	3.05	10.86	14	4.61	78			2911		20.7
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5		> 14		65-78			>1800		8-14

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				900.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				844.6		
Peso de filtro inicial, g				13.27		
Peso de filtro final, g				14.01		
Peso atrapado en filtro, g				0.74		
Contenido de betún asfáltico en %				6.07		
Relación filler / betún				1.15		0.8 ≤ F/B ≤ 1.2
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	27.00	27.00	3.20	97	90-100	90-100
3/8	125.30	152.30	18.03	82		
No.4	164.90	317.20	37.56	62	44-74	51-65
No. 8	159.60	476.80	56.45	44	28-58	34-46
No.16	126.00	602.80	71.37	29		
No.30	56.20	659.00	78.03	22		
No.50	54.60	713.60	84.49	16	5-21	7-17
No.100	38.90	752.50	89.10	11		
No.200	47.30	799.80	94.70	5	2-10	2-8
Pasa No. 200	44.80					

Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	131.66	1.49
Coefficiente de variación	4.52	7.18
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	251.2	

Curva Granulométrica





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

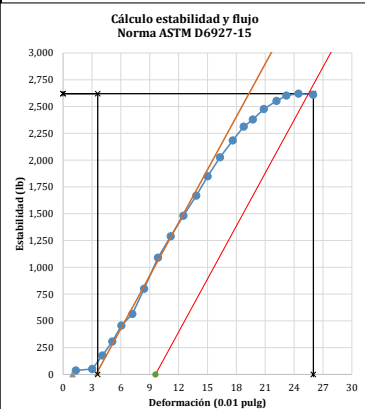
Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material :	Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	05/06/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	0+420

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

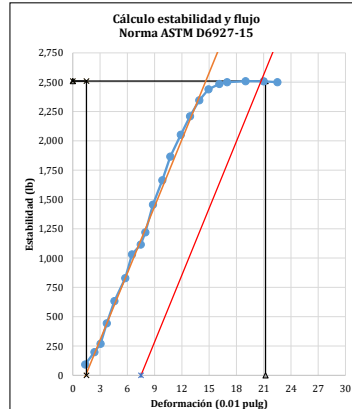
NUCLEO N° 1				
Lectura #	Deformación			Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01	pulg	
1	13	1.3		37
2	30	3.0		51
3	41	4.1		177
4	51	5.1		308
5	61	6.1		456
6	72	7.2		565
7	84	8.4		800
8	99	9.9		1090
9	112	11.2		1289
10	125	12.5		1481
11	138	13.8		1669
12	150	15.0		1850
13	163	16.3		2026
14	176	17.6		2184
15	188	18.8		2313
16	197	19.7		2379
17	209	20.9		2477
18	222	22.2		2553
19	232	23.2		2603
20	245	24.5		2620
21	260	26.0		2611

NUCLEO N° 2				
Lectura #	Deformación			Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01	pulg	
1	14	1.4		92
2	24	2.4		198
3	31	3.1		270
4	37	3.7		444
5	46	4.6		633
6	58	5.8		829
7	65	6.5		1031
8	75	7.5		1116
9	80	8.0		1220
10	88	8.8		1456
11	98	9.8		1664
12	107	10.7		1866
13	119	11.9		2052
14	129	12.9		2209
15	139	13.9		2346
16	149	14.9		2440
17	161	16.1		2485
18	170	17.0		2500
19	190	19.0		2509
20	210	21.0		2508
21	225	22.5		2500

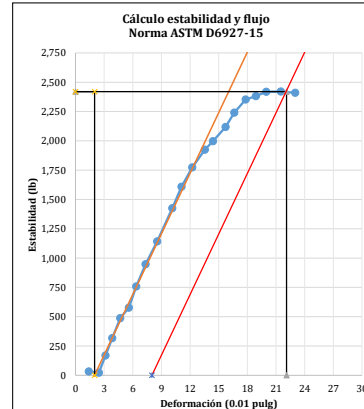
NUCLEO N° 3				
Lectura #	Deformación			Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01	pulg	
1	14	1.4		33
2	24	2.4		22
3	31	3.1		169
4	38	3.8		317
5	47	4.7		487
6	56	5.6		577
7	64	6.4		758
8	73	7.3		947
9	86	8.6		1142
10	101	10.1		1425
11	111	11.1		1609
12	122	12.2		1774
13	136	13.6		1925
14	144	14.4		1997
15	157	15.7		2119
16	166	16.6		2241
17	178	17.8		2353
18	189	18.9		2381
19	200	20.0		2419
20	215	21.5		2421
21	230	23.0		2410



Estabilidad (lb)	2620
Flujo (0.01 pulg)	22.4



Estabilidad (lb)	2510
Flujo (0.01 pulg)	19.7



Estabilidad (lb)	2420
Flujo (0.01 pulg)	20.1



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927

Fecha de Tendido : 28/04/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Fecha de Extracción: 05/06/2017
de Núcleos

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Material : Mezcla Asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Abscisa : 0+684

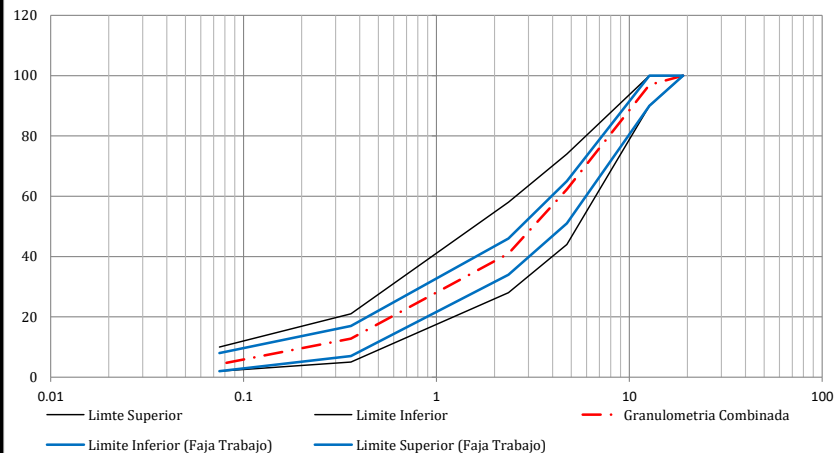
Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	1104.6	1106.4	638.5	467.9	2.361	ASTM D-2041							2200	1.19	2618		19.3
3/8	52	2.65	49.01			2	1107.3	1108.8	642.1	466.7	2.373								2365	1.19	2814		18.1
Arena	30	2.57	28.28			3	1052.4	1053.4	606.4	447.0	2.354								2170	1.25	2713		16.1
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.617	100.00	2.72	1.46	Prom.					2.363	2.479	85.10	4.70	10.20	15	4.38	68			2715		17.8
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5		> 14		65-78			>1800		8-14

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g			900.0			
Peso muestra final (luego de lavado), g			844.1			
Peso de filtro inicial, g			13.17			
Peso de filtro final, g			13.98			
Peso atrapado en filtro, g			0.81			
Contenido de betún asfáltico en %			6.12			
Relación filler / betún			0.99		0.8 ≤ F/B ≤ 1.2	
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	25.90	25.90	3.07	97	90-100	90-100
3/8	68.50	94.40	11.18	89		
No.4	223.90	318.30	37.71	62	44-74	51-65
No. 8	179.80	498.10	59.01	41	28-58	34-46
No.16	-498.10		0.00	100		
No.30	0.00		0.00	100		
No.50	736.20	736.20	87.22	13	5-21	7-17
No.100	-736.20		0.00	100		
No.200	807.70	807.70	95.69	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	36.4					

Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	98.20	1.59
Coefficiente de variación	3.62	8.92
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	272.2	

Curva Granulométrica





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

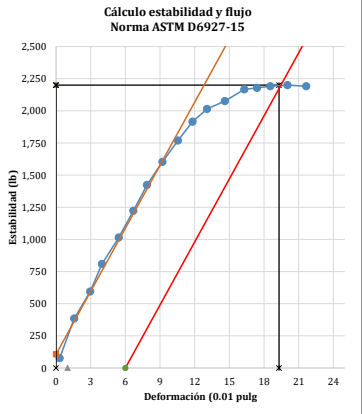
Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material :	Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	05/06/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	0+684

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

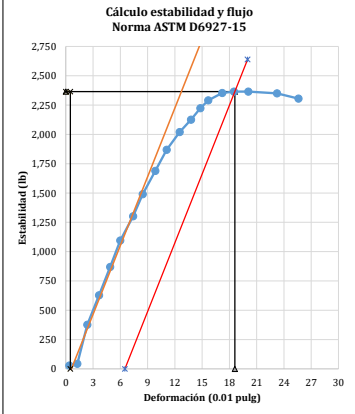
NUCLEO N° 1				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	0.01 pulg	
1	3	0.3		77
2	16	1.6		385
3	30	3.0		595
4	40	4.0		809
5	54	5.4		1015
6	67	6.7		1222
7	79	7.9		1424
8	92	9.2		1603
9	106	10.6		1769
10	118	11.8		1916
11	131	13.1		2014
12	146	14.6		2075
13	163	16.3		2167
14	174	17.4		2178
15	185	18.5		2191
16	200	20.0		2200
17	217	21.7		2191

NUCLEO N° 2				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	0.01 pulg	
1	4	0.4		29
2	13	1.3		43
3	24	2.4		376
4	37	3.7		628
5	49	4.9		870
6	60	6.0		1095
7	74	7.4		1301
8	85	8.5		1490
9	98	9.8		1689
10	111	11.1		1869
11	125	12.5		2020
12	138	13.8		2125
13	148	14.8		2224
14	157	15.7		2291
15	172	17.2		2353
16	185	18.5		2365
17	201	20.1		2365
18	232	23.2		2350
19	256	25.6		2305

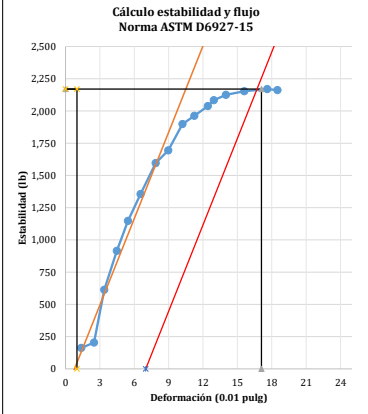
NUCLEO N° 3				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	0.01 pulg	
1	14	1.4		162
2	25	2.5		204
3	34	3.4		613
4	45	4.5		916
5	55	5.5		1148
6	66	6.6		1355
7	79	7.9		1596
8	90	9.0		1694
9	102	10.2		1898
10	112	11.2		1963
11	124	12.4		2038
12	129	12.9		2083
13	140	14.0		2125
14	156	15.6		2153
15	176	17.6		2170
16	185	18.5		2162



Estabilidad (lb)	2200
Flujo (0.01 pulg)	19.3



Estabilidad (lb)	2365
Flujo (0.01 pulg)	18.1



Estabilidad (lb)	2170
Flujo (0.01 pulg)	16.1



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL		Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan	
Norma : ASTM D 6927		Material : Mezcla Asfáltica en Caliente	
Fecha de Tendido :	29/04/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	0+993
Fecha de Extracción:	05/06/2017		
de Núcleos			

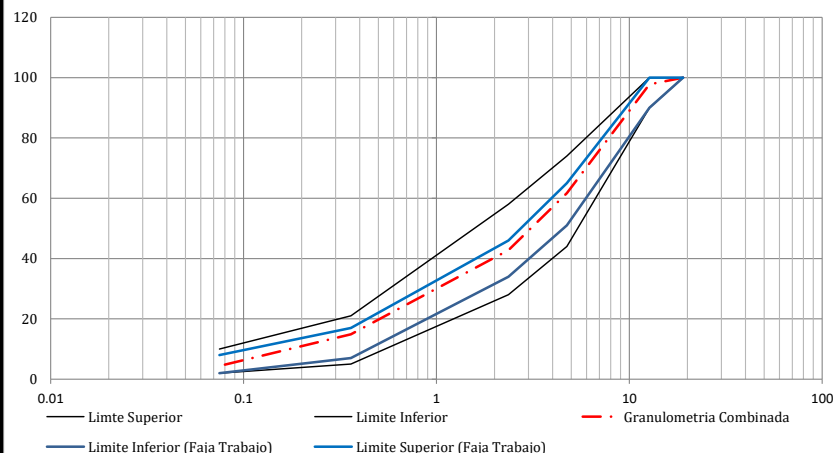
Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	1012.7	1013.6	578.6	435.0	2.328	ASTM D-2041							2100	1.32	2772		21.3
3/8	52	2.65	49.01			2	1011.2	1011.9	580.3	431.6	2.343								2180	1.39	3030		18.1
Arena	30	2.57	28.28			3	1008.1	1008.7	579.0	429.7	2.346								2150	1.39	2989		19.7
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.617	100.00	2.72	1.54	Prom.					2.339	2.484	84.25	5.84	9.91	16	4.30	63			2930		19.7
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5		> 14		65-78			>1800		8-14

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g			900.0		0.8 ≤ F/B ≤ 1.2	
Peso muestra final (luego de lavado), g			844.3			
Peso de filtro inicial, g			13.28			
Peso de filtro final, g			14.00			
Peso atrapado en filtro, g			0.72			
Contenido de betún asfáltico en %			6.11			
Relación filler / betún			1.02			
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	18.90	18.90	2.24	98	90-100	90-100
3/8	88.40	107.30	12.71	87		
No.4	215.90	323.20	38.28	62	44-74	51-65
No. 8	160.00	483.20	57.23	43	28-58	34-46
No.16	115.10	598.30	70.86	29		
No.30	67.20	665.50	78.82	21		
No.50	53.30	718.80	85.14	15	5-21	7-17
No.100	50.50	769.30	91.12	9		
No.200	37.90	807.20	95.61	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	37.10					

Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	138.61	1.58
Coeficiente de variación	4.73	8.00
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	266.4	

Curva Granulométrica





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

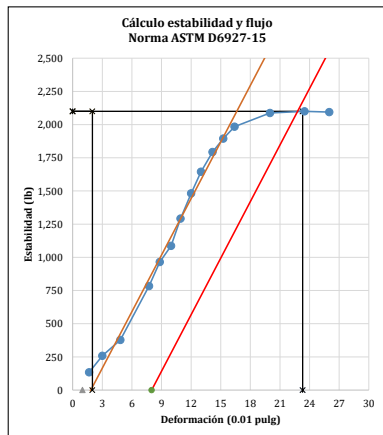
Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material :	Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	05/06/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	0+993

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

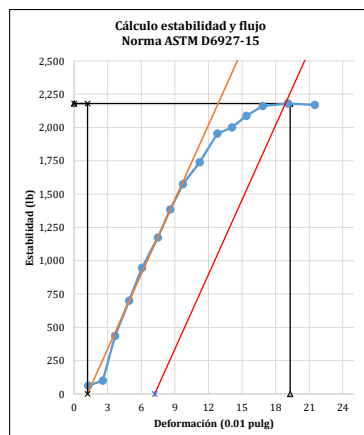
NUCLEO N° 1				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	pulg	
1	17	1.7		134
2	30	3.0		258
3	48	4.8		378
4	77	7.7		784
5	88	8.8		965
6	100	10.0		1087
7	109	10.9		1292
8	120	12.0		1482
9	130	13.0		1645
10	142	14.2		1794
11	153	15.3		1895
12	164	16.4		1984
13	200	20.0		2088
14	235	23.5		2100
15	260	26.0		2094

NUCLEO N° 2				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	pulg	
1	13	1.3		62
2	26	2.6		100
3	37	3.7		436
4	49	4.9		700
5	61	6.1		946
6	75	7.5		1175
7	86	8.6		1385
8	97	9.7		1575
9	112	11.2		1739
10	128	12.8		1954
11	141	14.1		2000
12	154	15.4		2088
13	169	16.9		2162
14	191	19.1		2180
15	215	21.5		2170

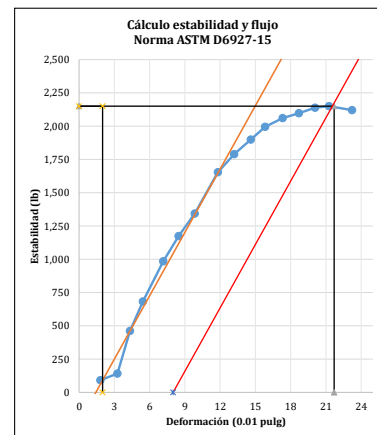
NUCLEO N° 3				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	pulg	
1	18	1.8		91
2	33	3.3		142
3	43	4.3		462
4	54	5.4		683
5	72	7.2		985
6	85	8.5		1174
7	98	9.8		1343
8	118	11.8		1654
9	132	13.2		1789
10	146	14.6		1899
11	158	15.8		1995
12	173	17.3		2061
13	187	18.7		2097
14	201	20.1		2139
15	213	21.3		2150
16	232	23.2		2120



Estabilidad (lb)	2100
Flujo (0.01 pulg)	21.3



Estabilidad (lb)	2180
Flujo (0.01 pulg)	18.1



Estabilidad (lb)	2150
Flujo (0.01 pulg)	19.7



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927
Fecha de Tendido : 02/05/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Fecha de Extracción:
de Núcleos 05/06/2017

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Material : Mezcla Asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Abscisa : 0+241

Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	260	16.97			1	1088.3	1089.5	629.1	460.4	2.364								2480	1.19	2951		14.2
3/8	52	265	49.01			2	1076.3	1077.1	621.9	455.3	2.364								2450	1.25	3063		14.6
Arena	30	257	28.28			3	1081.4	1082.2	626.4	455.8	2.372								2210	1.25	2763		13.8
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.605	100.00	2.70	1.33	Prom.					2.367	2.462	85.63	3.87	10.50	14	4.50	73			2925		14.2

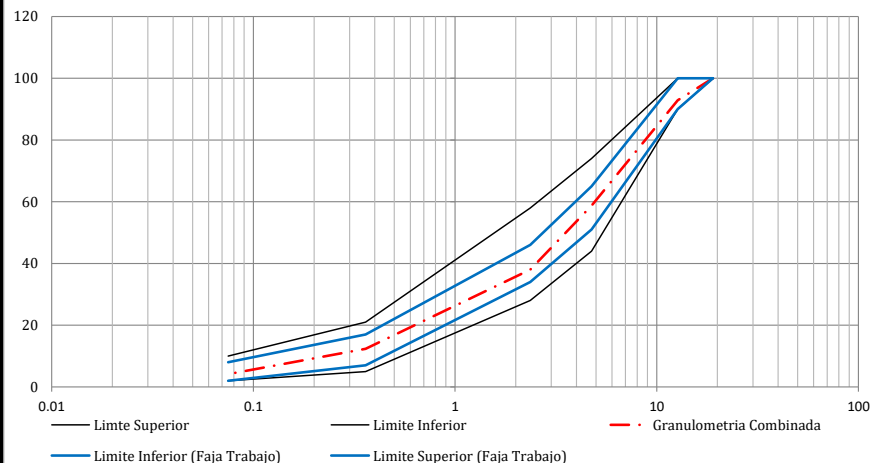
OBSERVACIONES: ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1000.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				940.0		
Peso de filtro inicial, g				23.35		
Peso de filtro final, g				24.49		
Peso atrapado en filtro,g				1.14		
Contenido de betún asfáltico en %				5.89		
Relación filler / betún				0.9		
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	67.00	67.00	7.13	93	90-100	90-100
3/8	79.00	146.00	15.53	84		
No.4	242.00	388.00	41.28	59	44-74	51-65
No. 8	195.00	583.00	62.02	38	28-58	34-46
No.16	111.00	694.00	73.83	26		
No.30	76.00	770.00	81.91	18		
No.50	54.00	824.00	87.66	12	5-21	7-17
No.100	47.00	871.00	92.66	7		
No.200	30.00	901.00	95.85	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	39.00					

Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	151.65	0.39
Coefficiente de variación	5.18	2.72
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	369.2	

Curva Granulométrica





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

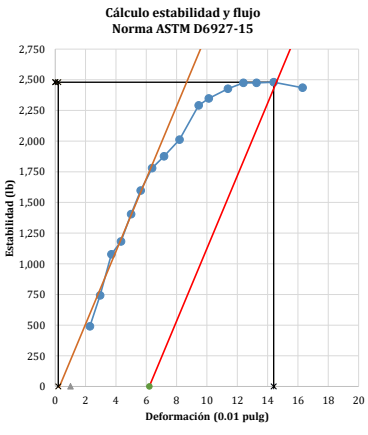
Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material :	Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	05/06/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	0+241

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

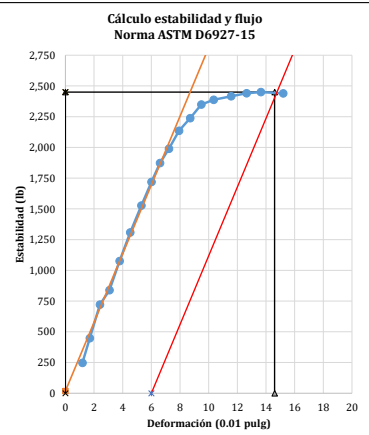
NÚCLEO N° 1			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	13	1.3	253
2	23	2.3	490
3	30	3.0	742
4	37	3.7	1077
5	43	4.3	1182
6	50	5.0	1404
7	56	5.6	1597
8	64	6.4	1780
9	72	7.2	1876
10	82	8.2	2011
11	94	9.4	2291
12	101	10.1	2347
13	114	11.4	2426
14	124	12.4	2474
15	133	13.3	2474
16	144	14.4	2480
17	163	16.3	2435

NÚCLEO N° 2			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	12	1.2	247
2	17	1.7	448
3	24	2.4	721
4	31	3.1	839
5	38	3.8	1076
6	45	4.5	1309
7	53	5.3	1527
8	60	6.0	1719
9	66	6.6	1873
10	72	7.2	1990
11	79	7.9	2136
12	87	8.7	2238
13	95	9.5	2349
14	103	10.3	2388
15	116	11.6	2416
16	126	12.6	2441
17	136	13.6	2450
18	152	15.2	2440

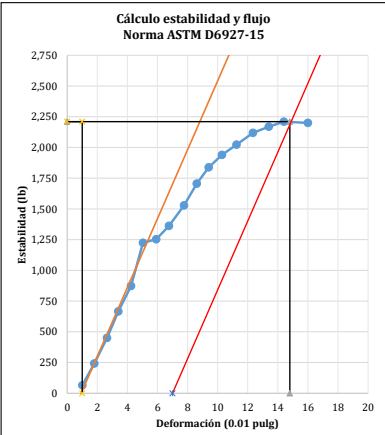
NÚCLEO N° 3			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	10	1.0	65
2	18	1.8	241
3	26	2.6	450
4	34	3.4	666
5	42	4.2	873
6	50	5.0	1224
7	59	5.9	1253
8	68	6.8	1362
9	78	7.8	1529
10	86	8.6	1706
11	94	9.4	1838
12	103	10.3	1940
13	113	11.3	2023
14	123	12.3	2119
15	134	13.4	2169
16	144	14.4	2210
17	160	16.0	2200



Estabilidad (lb)	2480
Flujo (0.01 pulg)	14.2



Estabilidad (lb)	2450
Flujo (0.01 pulg)	14.6



Estabilidad (lb)	2210
Flujo (0.01 pulg)	13.8



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927
Fecha de Tendido : 02/05/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Fecha de Extracción:
de Núcleos 05/06/2017

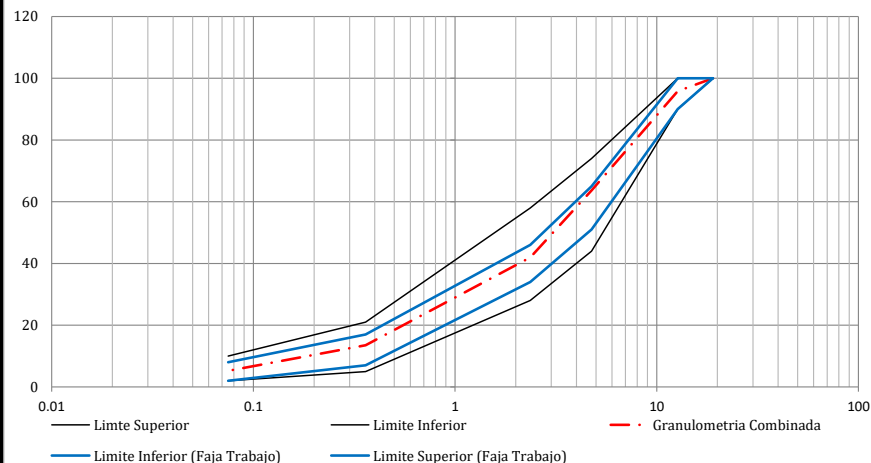
Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Material : Mezcla Asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Abscisa : 0+465

Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)	
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Ect				lb	F.C.	lb			
3/4	18	2.60	16.97			1	1131.7	1132.5	649.3	483.2	2.342	ASTM D-2041							2450	1.09	2671		15.2	
3/8	52	2.65	49.01			2	1153.2	1154.0	662.6	491.4	2.347									2400	1.09	2616		14.8
Arena	30	2.57	28.28			3	1141.3	1141.9	655.9	486.0	2.348									2610	1.09	2845		15.8
Asfalto	6.1	1.014	5.75																					
TOTAL	106.1	2.605	100.00	2.70	1.34	Prom.					2.346		2.463	84.87	4.76	10.37	15	4.48	69			2710		15.2
OBSERVACIONES:						ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5			> 14		65-78			>1800		8-14	

OBSERVACIONES: ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1000.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				939.0		
Peso de filtro inicial, g				21.39		
Peso de filtro final, g				23.38		
Peso atrapado en filtro,g				1.99		
Contenido de betún asfáltico en %				5.90		
Relación filler / betún				1.2		
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	39.00	39.00	4.15	96	90-100	90-100
3/8	35.00	74.00	7.88	92		
No.4	267.00	341.00	36.32	64	44-74	51-65
No. 8	204.00	545.00	58.04	42	28-58	34-46
No.16	121.00	666.00	70.93	29		
No.30	83.00	749.00	79.77	20		
No.50	63.00	812.00	86.47	14	5-21	7-17
No.100	53.00	865.00	92.12	8		
No.200	25.00	890.00	94.78	5	2-10	2-8
Pasa No. 200	49.00					

Curva Granulométrica



Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	119.57	0.50
Coefficiente de variación	4.41	3.27
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	318.6	



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL

Norma : ASTM D 6927 - 15

Fecha de Muestreo : 05/06/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay

Material : Mezcla asfáltica en Caliente

Procedencia: Planta de Producción la Josefina

Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay

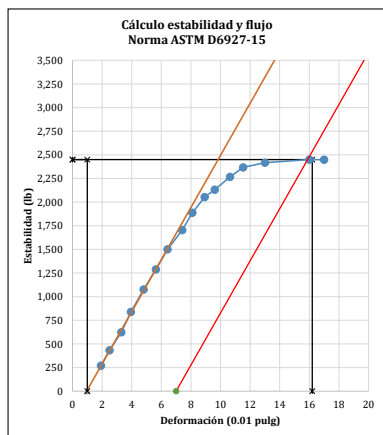
Abscisa : 0+465

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

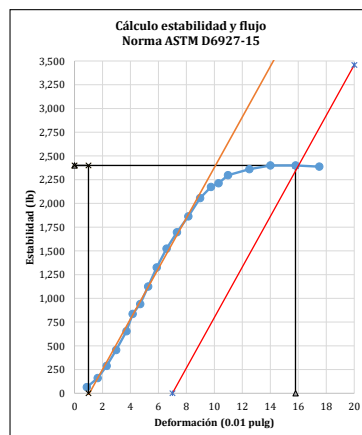
NÚCLEO N° 1			
Lectura #	Deformación		
	0.001 pulg	0.01 pulg	Estabilidad (lb)
1	12	1.2	212
2	19	1.9	269
3	25	2.5	433
4	33	3.3	624
5	39	3.9	839
6	48	4.8	1075
7	56	5.6	1288
8	64	6.4	1500
9	74	7.4	1703
10	81	8.1	1888
11	89	8.9	2053
12	96	9.6	2132
13	106	10.6	2267
14	115	11.5	2368
15	130	13.0	2417
16	160	16.0	2450
17	170	17.0	2448

NÚCLEO N° 2			
Lectura #	Deformación		
	0.001 pulg	0.01 pulg	Estabilidad (lb)
1	9	0.9	64
2	17	1.7	160
3	23	2.3	288
4	30	3.0	456
5	37	3.7	653
6	42	4.2	835
7	47	4.7	940
8	53	5.3	1125
9	59	5.9	1326
10	66	6.6	1523
11	73	7.3	1695
12	81	8.1	1862
13	90	9.0	2056
14	98	9.8	2173
15	103	10.3	2212
16	110	11.0	2298
17	125	12.5	2361
18	140	14.0	2399
19	158	15.8	2400
20	175	17.5	2388

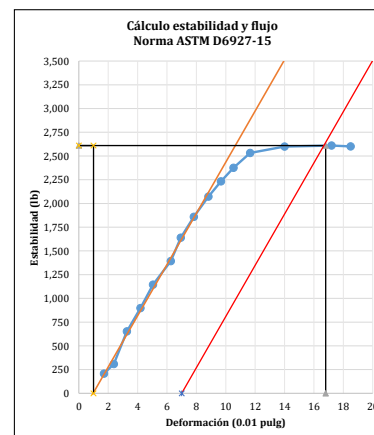
NÚCLEO N° 3			
Lectura #	Deformación		
	0.001 pulg	0.01 pulg	Estabilidad (lb)
1	17	1.7	208
2	24	2.4	308
3	33	3.3	652
4	42	4.2	898
5	50	5.0	1145
6	63	6.3	1392
7	69	6.9	1639
8	78	7.8	1859
9	88	8.8	2072
10	97	9.7	2232
11	105	10.5	2376
12	117	11.7	2531
13	140	14.0	2600
14	172	17.2	2610
15	185	18.5	2601



Estabilidad (lb)	2450
Flujo (0.01 pulg)	15.2



Estabilidad (lb)	2400
Flujo (0.01 pulg)	14.8



Estabilidad (lb)	2610
Flujo (0.01 pulg)	15.8



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927
Fecha de Tendido : 03/05/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Fecha de Extracción:
de Núcleos 05/06/2017

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Material : Mezcla Asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Abscisa : 0+765

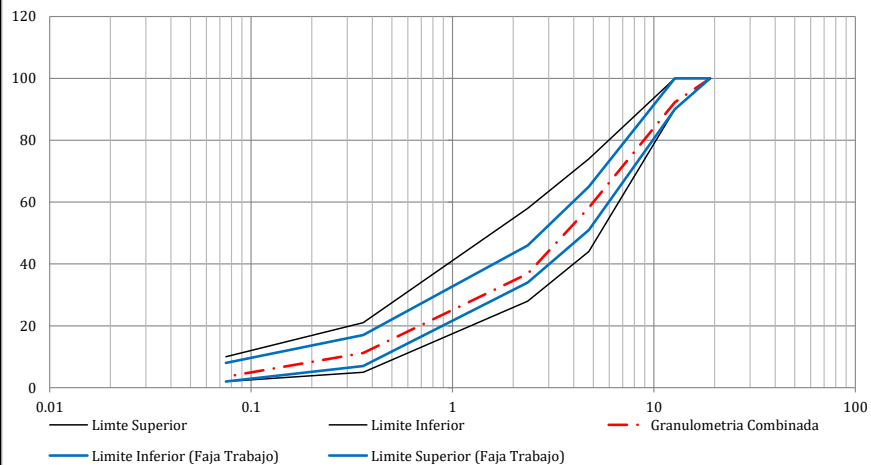
Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	982.3	983.3	562.1	421.2	2.332								1810	1.39	2516		14.6
3/8	52	2.65	49.01			2	981.8	982.9	561.5	421.4	2.330								1860	1.39	2585		14.8
Arena	30	2.57	28.28			3	976.2	977.2	558.7	418.6	2.332								1590	1.47	2337		13.0
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.605	100.00	2.68	1.13	Prom.					2.331	2.451	84.36	4.88	10.77	16	4.68	69			2480		14.1

OBSERVACIONES: ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002

													3-5			> 14						>1800		8-14
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	------	--	--	--	--	--	-------	--	------

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g					1200.0	
Peso muestra final (luego de lavado), g					1128.9	
Peso de filtro inicial, g					23.75	
Peso de filtro final, g					25.14	
Peso atrapado en filtro, g					1.39	
Contenido de betún asfáltico en %					5.81	
Relación filler / betún					0.8	0.8 ≤ F/B ≤ 1.2
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100-00
1/2	87.00	87.00	7.71	92	90-100	90-100
3/8	91.00	178.00	15.77	84		
No.4	294.00	472.00	41.81	58	44-74	51-65
No.8	241.00	713.00	63.16	37	28-58	34-46
No.16	132.00	845.00	74.85	25		
No.30	91.00	936.00	82.91	17		
No.50	66.00	1,002.00	88.76	11	5-21	7-17
No.100	62.00	1,064.00	94.25	6		
No.200	25.00	1,089.00	96.47	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	39.90					

Curva Granulométrica



Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	127.99	0.97
Coefficiente de variación	5.16	6.89
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	314.5	



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

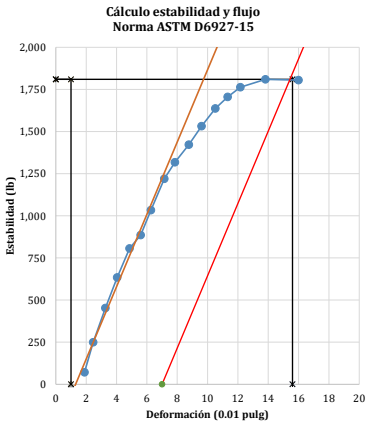
Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material :	Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	05/06/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	0+765

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

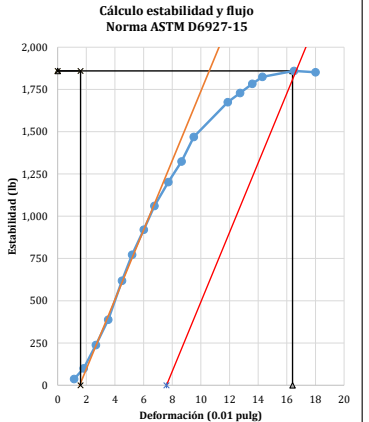
NÚCLEO N° 1			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	11	1.1	56
2	19	1.9	71
3	25	2.5	249
4	33	3.3	453
5	40	4.0	634
6	49	4.9	806
7	56	5.6	886
8	63	6.3	1034
9	71	7.1	1220
10	79	7.9	1318
11	88	8.8	1422
12	96	9.6	1532
13	105	10.5	1637
14	113	11.3	1706
15	122	12.2	1763
16	138	13.8	1810
17	160	16.0	1805

NÚCLEO N° 2			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	12	1.2	37
2	18	1.8	100
3	27	2.7	238
4	35	3.5	388
5	45	4.5	619
6	52	5.2	772
7	60	6.0	920
8	68	6.8	1061
9	77	7.7	1202
10	86	8.6	1324
11	95	9.5	1469
12	119	11.9	1675
13	127	12.7	1730
14	136	13.6	1784
15	143	14.3	1824
16	165	16.5	1860
17	180	18.0	1852

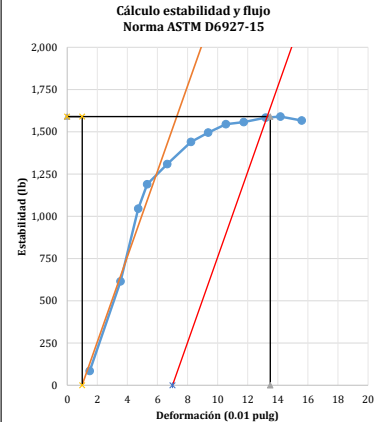
NÚCLEO N° 3			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	15	1.5	84
2	35	3.5	614
3	47	4.7	1045
4	53	5.3	1189
5	67	6.7	1309
6	82	8.2	1440
7	94	9.4	1495
8	106	10.6	1545
9	117	11.7	1557
10	132	13.2	1583
11	142	14.2	1590
12	156	15.6	1566



Estabilidad (lb)	1810
Flujo (0.01 pulg)	14.6



Estabilidad (lb)	1860
Flujo (0.01 pulg)	14.8



Estabilidad (lb)	1590
Flujo (0.01 pulg)	13.0



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927
Fecha de Tendido : 03/05/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Fecha de Extracción:
de Núcleos 05/06/2017

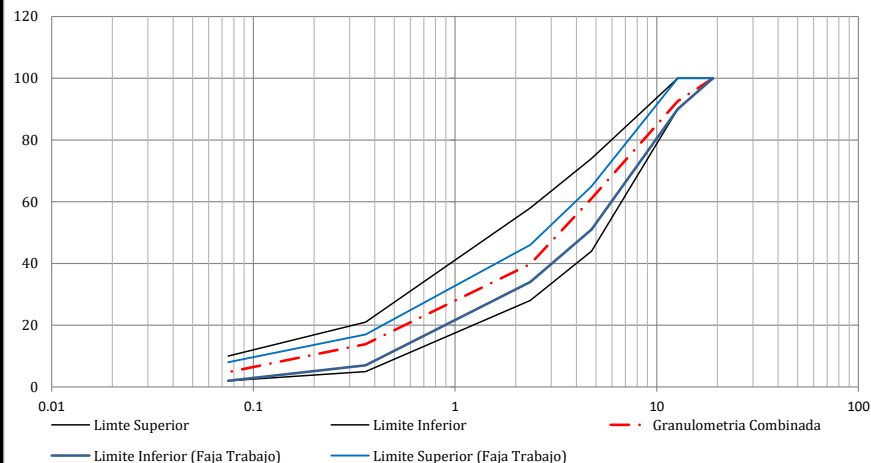
Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Material : Mezcla Asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Abscisa : 1+080

Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	899.9	900.8	518.2	382.7	2.352								1750	1.67	2923		15.9
3/8	52	2.65	49.01			2	913.2	915.7	524.5	391.2	2.334								1790	1.67	2989		13.8
Arena	30	2.57	28.28			3	926.1	927.4	531.3	396.1	2.338								1890	1.56	2948		13.8
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.605	100.00	2.70	1.34	Prom.					2.341	2.463	84.71	4.94	10.35	15	4.48	68			2953		14.5

OBSERVACIONES: ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1000.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				940.2		
Peso de filtro inicial, g				23.00		
Peso de filtro final, g				24.65		
Peso atrapado en filtro,g				1.65		
Contenido de betún asfáltico en %				5.82		
Relación filler / betún				1.1		
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	70.00	70.00	7.45	93	90-100	90-100
3/8	50.00	120.00	12.76	87		
No.4	246.00	366.00	38.93	61	44-74	51-65
No. 8	200.00	566.00	60.20	40	28-58	34-46
No.16	111.00	677.00	72.01	28		
No.30	76.00	753.00	80.09	20		
No.50	57.00	810.00	86.16	14	5-21	7-17
No.100	45.00	855.00	90.94	9		
No.200	40.00	895.00	95.20	5	2-10	2-8
Pasa No. 200	45.15					

Curva Granulométrica



Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	33.68	1.24
Coefficiente de variación	1.14	8.56
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	364.3	



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL

Norma : ASTM D 6927 - 15

Fecha de Muestreo : 05/06/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay

Material : Mezcla asfáltica en Caliente

Procedencia: Planta de Producción la Josefina

Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay

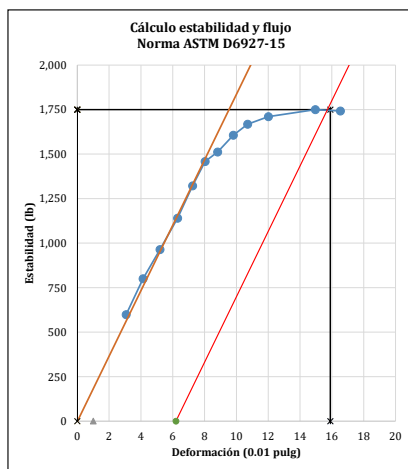
Abscisa : 1+080

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

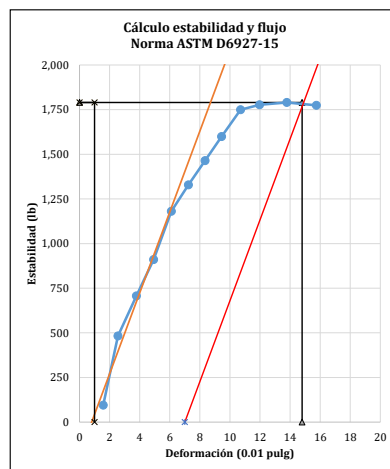
NÚCLEO N° 1			
Lectura #	Deformación		Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	16	1.6	233
2	31	3.1	598
3	41	4.1	800
4	52	5.2	964
5	63	6.3	1140
6	72	7.2	1322
7	80	8.0	1458
8	88	8.8	1512
9	98	9.8	1606
10	107	10.7	1668
11	120	12.0	1710
12	150	15.0	1750
13	165	16.5	1742

NÚCLEO N° 2			
Lectura #	Deformación		Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	16	1.6	95
2	26	2.6	482
3	38	3.8	707
4	49	4.9	910
5	61	6.1	1181
6	72	7.2	1328
7	83	8.3	1464
8	94	9.4	1599
9	107	10.7	1750
10	120	12.0	1777
11	138	13.8	1790
12	157	15.7	1774

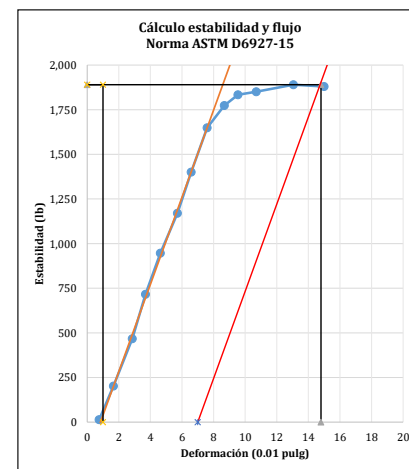
NÚCLEO N° 3			
Lectura #	Deformación		Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	8	0.8	14
2	17	1.7	202
3	29	2.9	468
4	37	3.7	716
5	46	4.6	947
6	57	5.7	1170
7	66	6.6	1401
8	76	7.6	1649
9	87	8.7	1773
10	95	9.5	1834
11	107	10.7	1851
12	131	13.1	1890
13	150	15.0	1880



Estabilidad (lb)	1750
Flujo (0.01 pulg)	15.9



Estabilidad (lb)	1790
Flujo (0.01 pulg)	13.8



Estabilidad (lb)	1890
Flujo (0.01 pulg)	13.8



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927
Fecha de Tendido : 04/05/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Fecha de Extracción:
de Núcleos 05/06/2017

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Material : Mezcla Asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Abscisa : 1+433

Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA						
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb	Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)	
3/4	18	2.60	16.97			1	983.7	985.2	561.7	423.5	2.323	ASTM D-2041							1850	1.39	2572		13.6	
3/8	52	2.65	49.01			2	971.0	972.0	553.4	418.6	2.320								1825	1.47	2683		15.2	
Arena	30	2.57	28.28			3	963.6	964.6	549.2	415.4	2.320								1810	1.47	2661		14.4	
Asfalto	6.1	1.014	5.75																					
TOTAL	106.1	2.605	100.00	2.70	1.43	Prom.					2.321		2.468	83.97	5.97	10.07	16	4.40	63			2638		14.4
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002						3-5			> 14		65-78		>1800		8-14		

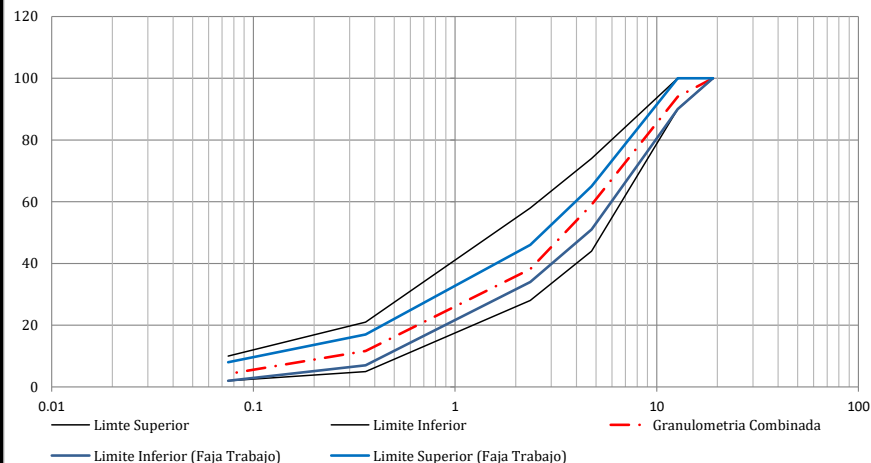
OBSERVACIONES: ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1200.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				1125.4		
Peso de filtro inicial, g				21.10		
Peso de filtro final, g				23.06		
Peso atrapado en filtro,g				1.96		
Contenido de betún asfáltico en %				6.05		
Relación filler / betún				1.0		
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	67.00	67.00	5.95	94	90-100	90-100
3/8	69.00	136.00	12.08	88		
No.4	325.00	461.00	40.96	59	44-74	51-65
No. 8	235.00	696.00	61.84	38	28-58	34-46
No.16	131.00	827.00	73.48	27		
No.30	96.00	923.00	82.02	18		
No.50	71.00	994.00	88.32	12	5-21	7-17
No.100	57.00	1,051.00	93.39	7		
No.200	27.00	1,078.00	95.79	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	47.40					

Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	58.91	0.79
Coefficiente de variación	2.23	5.50
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	328.6	

Curva Granulométrica





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

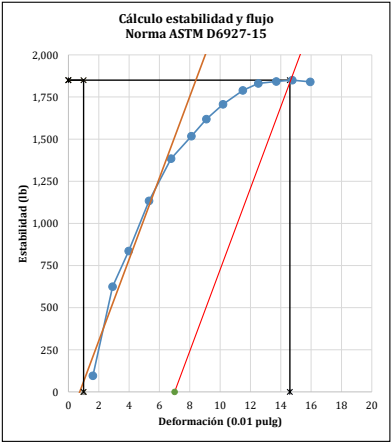
Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material :	Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	05/06/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	1+433

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

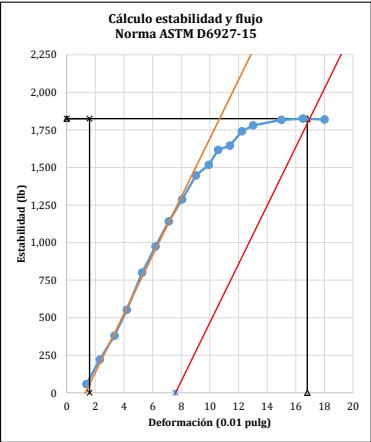
NÚCLEO N° 1			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	16	1.6	95
2	29	2.9	624
3	40	4.0	836
4	53	5.3	1134
5	68	6.8	1384
6	81	8.1	1517
7	91	9.1	1619
8	102	10.2	1707
9	115	11.5	1790
10	125	12.5	1830
11	137	13.7	1842
12	148	14.8	1850
13	159	15.9	1840

NÚCLEO N° 2			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	14	1.4	58
2	23	2.3	221
3	33	3.3	380
4	42	4.2	552
5	53	5.3	800
6	62	6.2	974
7	71	7.1	1141
8	81	8.1	1288
9	90	9.0	1447
10	99	9.9	1517
11	106	10.6	1616
12	114	11.4	1645
13	122	12.2	1741
14	130	13.0	1780
15	150	15.0	1817
16	165	16.5	1825
17	180	18.0	1819

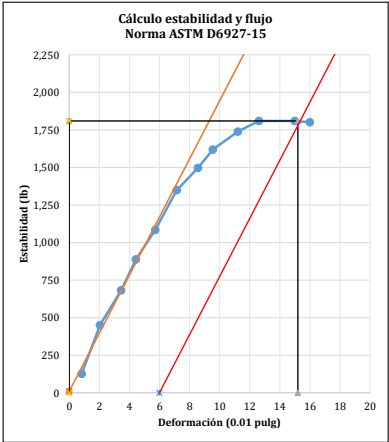
NÚCLEO N° 3			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	8	0.8	127
2	20	2.0	450
3	34	3.4	682
4	44	4.4	888
5	57	5.7	1084
6	72	7.2	1349
7	86	8.6	1497
8	95	9.5	1619
9	112	11.2	1739
10	126	12.6	1810
11	150	15.0	1810
12	160	16.0	1801



Estabilidad (lb)	1850
Flujo (0.01 pulg)	13.6



Estabilidad (lb)	1825
Flujo (0.01 pulg)	15.2



Estabilidad (lb)	1810
Flujo (0.01 pulg)	15.2



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927
Fecha de Tendido : 04/05/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Fecha de Extracción:
de Núcleos 05/06/2017

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Material : Mezcla Asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Abscisa : 1+723

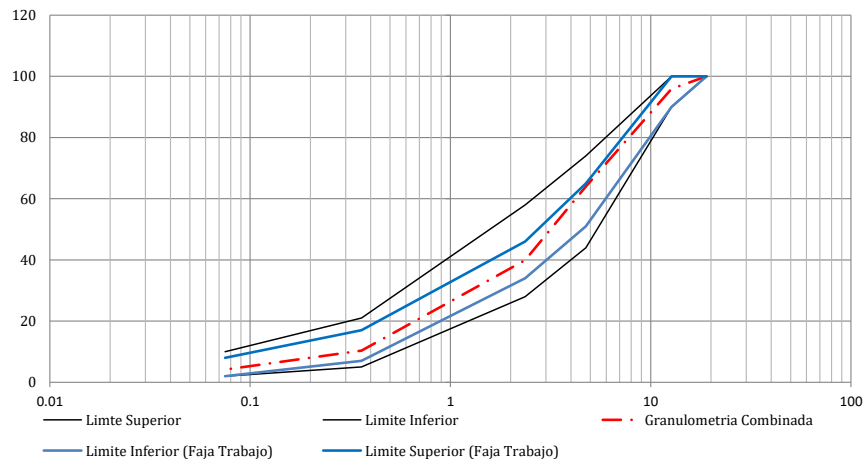
Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	956.1	956.9	549.5	407.4	2.347	ASTM D-2041							1680	1.47	2470		12.6
3/8	52	2.65	49.01			2	965.3	966.0	556.5	409.5	2.357								1530	1.47	2249		10.8
Arena	30	2.57	28.28			3	951.1	952.3	546.9	405.4	2.346								1600	1.56	2496		12.2
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.605	100.00	2.70	1.40	Prom.					2.350		2.466	85.03	4.70	10.27	15	4.43	69			2405	
OBSERVACIONES:						ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002									3-5			> 14			>1800		8-14

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1000.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				939.0		
Peso de filtro inicial, g				21.06		
Peso de filtro final, g				22.65		
Peso atrapado en filtro, g				1.59		
Contenido de betún asfáltico en %				5.94		
Relación filler / betún				0.9		
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	38.00	38.00	4.05	96	90-100	90-100
3/8	62.00	100.00	10.65	89		
No.4	238.00	338.00	36.00	64	44-74	51-65
No. 8	226.00	564.00	60.06	40	28-58	34-46
No.16	114.00	678.00	72.20	28		
No.30	89.00	767.00	81.68	18		
No.50	75.00	842.00	89.67	10	5-21	7-17
No.100	35.00	877.00	93.40	7		
No.200	23.00	900.00	95.85	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	39.00					

Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	135.57	0.94
Coefficiente de variación	5.64	7.87
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	362.0	

Curva Granulométrica





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

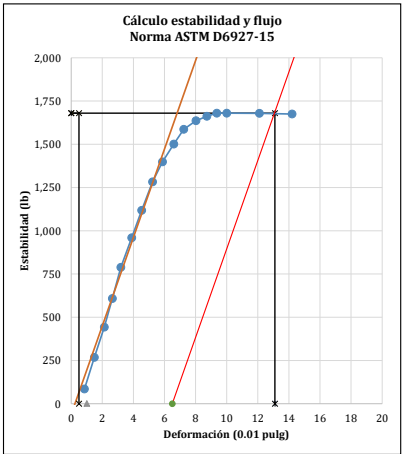
Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material : Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	05/06/2017	Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa : 1+723

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

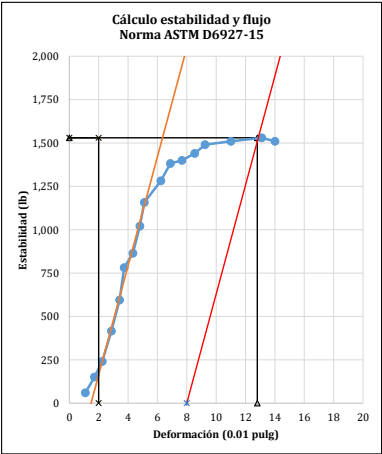
NUCLEO N° 1				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	9	0.9		85
2	15	1.5		268
3	21	2.1		442
4	26	2.6		608
5	32	3.2		788
6	39	3.9		959
7	45	4.5		1118
8	52	5.2		1283
9	59	5.9		1398
10	66	6.6		1501
11	72	7.2		1587
12	80	8.0		1636
13	87	8.7		1662
14	94	9.4		1680
15	100	10.0		1680
16	121	12.1		1679
17	142	14.2		1675

NUCLEO N° 2				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	11	1.1		60
2	17	1.7		151
3	22	2.2		241
4	29	2.9		415
5	34	3.4		595
6	37	3.7		782
7	43	4.3		864
8	48	4.8		1021
9	51	5.1		1157
10	62	6.2		1282
11	69	6.9		1382
12	77	7.7		1400
13	85	8.5		1440
14	92	9.2		1490
15	110	11.0		1510
16	131	13.1		1530
17	140	14.0		1510

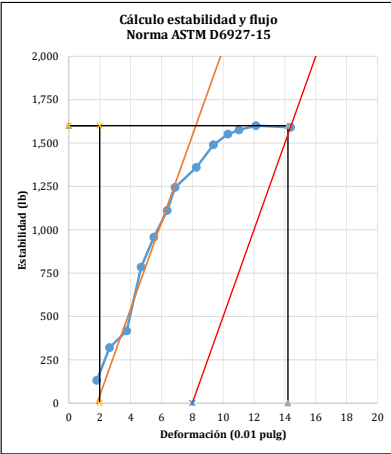
NUCLEO N° 3				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	18	1.8		132
2	26	2.6		321
3	37	3.7		416
4	47	4.7		784
5	55	5.5		958
6	64	6.4		1111
7	69	6.9		1244
8	83	8.3		1360
9	94	9.4		1490
10	103	10.3		1551
11	110	11.0		1575
12	121	12.1		1600
13	144	14.4		1591



Estabilidad (lb)	1680
Flujo (0.01 pulg)	12.6



Estabilidad (lb)	1530
Flujo (0.01 pulg)	10.8



Estabilidad (lb)	1600
Flujo (0.01 pulg)	12.2



RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA

ANEXO 4:

ENSAYOS DE LABORATORIO EN NÚCLEOS EXTRAÍDOS A LOS 60 DÍAS



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA													
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS													
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez													
Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm)	Lugar de muestreo: Vía Gualaceo-Plan de Milagro Acceso Huaymincay Material : Mezcla asfáltica (Extraída en Bloque 30x30 cm) Procedencia: Planta de Producción La Josefina Destino: - Abscisa: 0+500												
Norma : ASTM D 2041-00													
Fecha de Muestreo : 06/07/2017													
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel													
Revisado por : Ing. Cristian Flores													
<table><tr><td>A</td><td>Peso del material (g)</td><td>400.00</td></tr><tr><td>B</td><td>Peso picnómetro+agua (g)</td><td>1415.10</td></tr><tr><td>C</td><td>Peso picnómetro +agua+material (g)</td><td>1653.95</td></tr><tr><td colspan="2">$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} =$</td><td>2.482</td></tr></table>		A	Peso del material (g)	400.00	B	Peso picnómetro+agua (g)	1415.10	C	Peso picnómetro +agua+material (g)	1653.95	$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} =$		2.482
A	Peso del material (g)	400.00											
B	Peso picnómetro+agua (g)	1415.10											
C	Peso picnómetro +agua+material (g)	1653.95											
$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} =$		2.482											



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA									
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS									
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez									
Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm)	Lugar de muestreo: Vía Gualaceo-Plan de Milagro Acceso Huaymincay Material : Mezcla asfáltica (Extraída en Bloque 30x30 cm) Procedencia: Planta de Producción La Josefina Destino: - Abscisa: 1+100								
Norma : ASTM D 2041-00									
Fecha de Muestreo : 06/07/2017									
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel									
Revisado por : Ing. Cristian Flores									
<table border="1"><tr><td>A Peso del material (g)</td><td>400.00</td></tr><tr><td>B Peso picnómetro+agua (g)</td><td>1407.90</td></tr><tr><td>C Peso picnómetro +agua+material (g)</td><td>1644.96</td></tr><tr><td colspan="2">$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} = 2.455$</td></tr></table>		A Peso del material (g)	400.00	B Peso picnómetro+agua (g)	1407.90	C Peso picnómetro +agua+material (g)	1644.96	$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} = 2.455$	
A Peso del material (g)	400.00								
B Peso picnómetro+agua (g)	1407.90								
C Peso picnómetro +agua+material (g)	1644.96								
$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} = 2.455$									



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA													
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS													
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez													
Ensayo : GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (Gmm)	Lugar de muestreo: Vía Gualaceo-Plan de Milagro Acceso Guazhalán Material : Mezcla asfáltica (Extraída en Bloque 30x30 cm) Procedencia: Planta de Producción La Josefina Destino: - Abscisa: 0+470												
Norma : ASTM D 2041-00													
Fecha de Muestreo : 06/07/2017													
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel													
Revisado por : Ing. Cristian Flores													
<table><tr><td>A</td><td>Peso del material (g)</td><td>400.00</td></tr><tr><td>B</td><td>Peso picnómetro+agua (g)</td><td>1412.48</td></tr><tr><td>C</td><td>Peso picnómetro +agua+material (g)</td><td>1650.58</td></tr><tr><td colspan="2">$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} =$</td><td>2.471</td></tr></table>		A	Peso del material (g)	400.00	B	Peso picnómetro+agua (g)	1412.48	C	Peso picnómetro +agua+material (g)	1650.58	$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} =$		2.471
A	Peso del material (g)	400.00											
B	Peso picnómetro+agua (g)	1412.48											
C	Peso picnómetro +agua+material (g)	1650.58											
$Gmm = \frac{A}{(A + B - C)} =$		2.471											



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

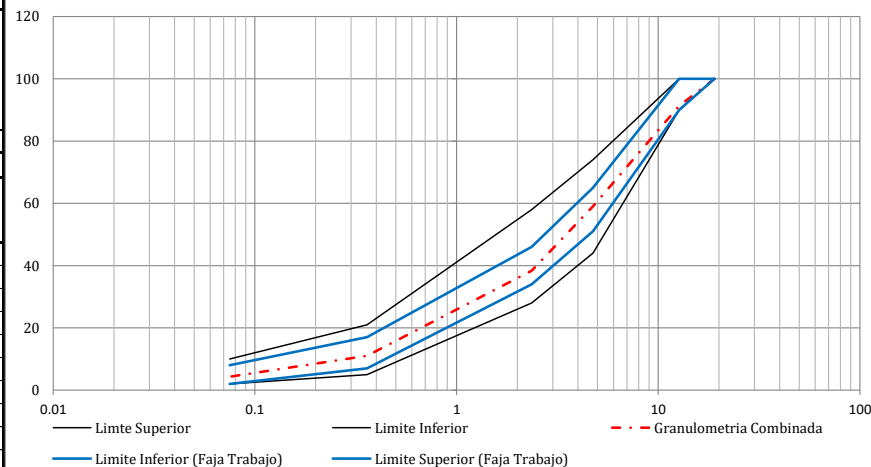
Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927
Fecha de Tendido : 27/04/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Material : Mezcla Asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Abscisa : 0+420

Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	1109.0	1110.4	643.4	467.0	2.375	ASTM D-2041							2680	1.19	3189	23.5	
3/8	52	2.65	49.01			2	1076.6	1077.4	612.8	464.6	2.317								2660	1.19	3165	22.5	
Arena	30	2.57	28.28			3	1167.3	1168.1	669.0	499.0	2.339								2970	1.04	3089	25.0	
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.605	100.00	2.70	1.38	Prom.					2.344		2.465	84.79	4.93	10.28	15	4.45	68			3148	23.7
OBSERVACIONES:						ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002																	
</																							

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1000.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				936.5		
Peso de filtro inicial, g				21.63		
Peso de filtro final, g				23.35		
Peso atrapado en filtro,g				1.72		
Contenido de betún asfáltico en %				6.18		
Relación filler / betún				1.0		0.8 ≤ F/B ≤ 1.2
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	81.50	81.50	8.70	91	90-100	90-100
3/8	40.80	122.30	13.06	87		
No.4	261.20	383.50	40.95	59	44-74	51-65
No. 8	193.50	577.00	61.61	38	28-58	34-46
No.16	92.50	669.50	71.49	29		
No.30	81.50	751.00	80.19	20		
No.50	82.00	833.00	88.95	11	5-21	7-17
No.100	37.10	870.10	92.91	7		
No.200	26.00	896.10	95.69	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	40.40					

Curva Granulométrica



Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	52.46	1.26
Coefficiente de variación	1.67	5.32
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	238.0	



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927 - 15
Fecha de Muestreo : 05/07/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

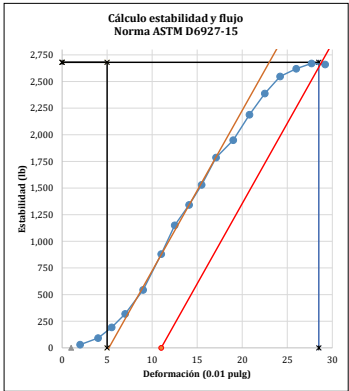
Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Material : Mezcla asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Abscisa : 0+420

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

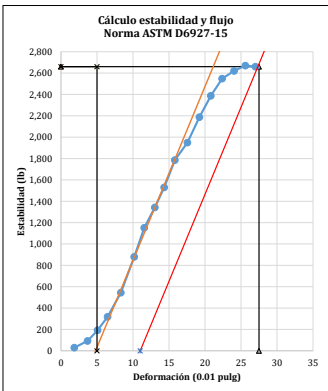
NUCLEO N° 1				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	pulg	
1	20	2.00	30	
2	40	4.00	92	
3	55	5.50	193	
4	70	7.00	319	
5	90	9.00	544	
6	110	11.00	880	
7	125	12.50	1151	
8	141	14.10	1342	
9	155	15.50	1530	
10	171	17.10	1786	
11	190	19.00	1950	
12	208	20.80	2188	
13	225	22.50	2387	
14	242	24.20	2548	
15	260	26.00	2620	
16	277	27.70	2670	
17	292	29.20	2660	

NUCLEO N° 2				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	pulg	
1	18.4932	1.85	30	
2	36.9863	3.70	92	
3	50.8562	5.09	193	
4	64.726	6.47	319	
5	83.2192	8.32	544	
6	101.712	10.17	880	
7	115.582	11.56	1151	
8	130.377	13.04	1342	
9	143.322	14.33	1530	
10	158.116	15.81	1786	
11	175.685	17.57	1950	
12	192.329	19.23	2188	
13	208.048	20.80	2387	
14	223.767	22.38	2548	
15	240.411	24.04	2620	
16	256.130	25.6130	2670	
17	270	27.0000	2660	

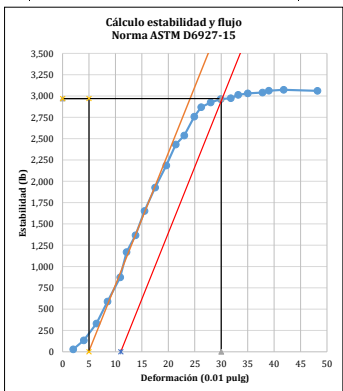
NUCLEO N° 3				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	pulg	
1	20	2.00	29	
2	40	4.00	134	
3	64	6.40	332	
4	85	8.50	590	
5	109	10.90	873	
6	121	12.10	1169	
7	138	13.80	1366	
8	155	15.50	1652	
9	175	17.50	1926	
10	196	19.60	2186	
11	214	21.40	2431	
12	230	23.00	2537	
13	249	24.90	2758	
14	262	26.2000	2869	
15	280	28.0000	2925	
16	299	29.9000	2963	
17	318	31.8000	2975	
18	332	33.2000	3013	
19	350	35.0000	3031	
20	378	37.8000	3040	
21	390	39.0000	3062	
22	418	41.8000	3073	
23	482	48.2000	3061	



Estabilidad (lb)	2680
Flujo (0.01 pulg)	23.5



Estabilidad (lb)	2660
Flujo (0.01 pulg)	22.5



Estabilidad (lb)	2970
Flujo (0.01 pulg)	25.0



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927

Fecha de Tendido : 28/04/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

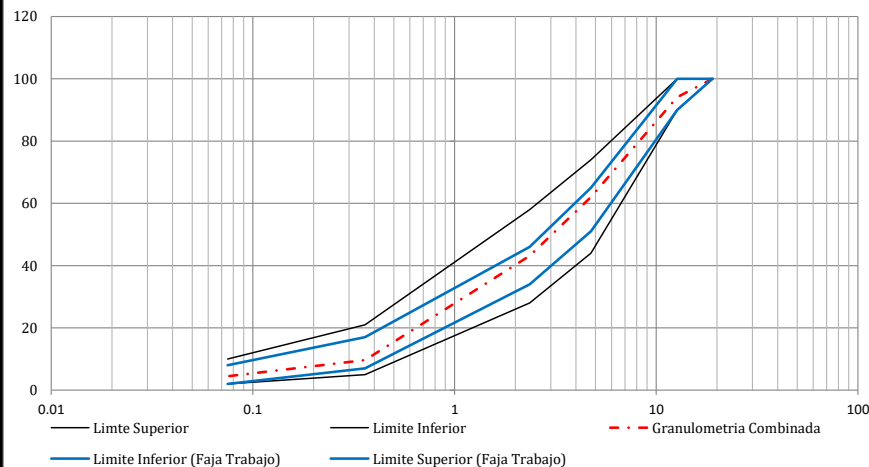
Fecha de Extracción: 05/07/2017
de Núcleos

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Material : Mezcla Asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Abscisa : 0+684

Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)	
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb			
3/4	18	2.60	16.97			1	915.1	916.5	531.1	385.4	2.374	ASTM D-2041							1525	1.67	2547		20.0	
3/8	52	2.65	49.01			2	950.1	951.0	545.0	406.0	2.340								1660	1.47	2440		17.5	
Arena	30	2.57	28.28			3	921.2	922.3	531.0	391.3	2.354								1650	1.67	2756		18.5	
Asfalto	6.1	1.014	5.75																					
TOTAL	106.1	2.605	100.00	2.72	1.63	Prom.					2.356	2.479	85.25	4.95	9.80	15	4.22	66			2581		18.7	
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5		> 14		65-78			>1800		8-14	

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1000.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				936.9		
Peso de filtro inicial, g				22.60		
Peso de filtro final, g				23.90		
Peso atrapado en filtro, g				1.30		
Contenido de betún asfáltico en %				6.18		
Relación filler / betún				1.1		0.8 ≤ F/B ≤ 1.2
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	55.60	55.60	5.93	94	90-100	90-100
3/8	46.20	101.80	10.87	89		
No.4	254.20	356.00	38.00	62	44-74	51-65
No. 8	176.50	532.50	56.84	43	28-58	34-46
No.16	125.40	657.90	70.22	30		
No.30	109.00	766.90	81.86	18		
No.50	79.90	846.80	90.38	10	5-21	7-17
No.100	24.50	871.30	93.00	7		
No.200	23.80	895.10	95.54	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	41.80					

Curva Granulométrica



Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	160.39	1.26
Coefficiente de variación	6.21	6.74
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	247.4	



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

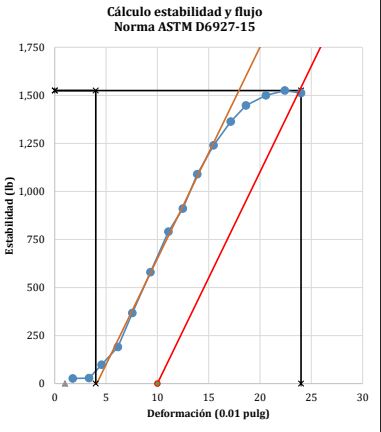
Ensayo :	ENSAYO MARSHALL.	Lugar de muestreo:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material :	Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	05/07/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	0+684

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

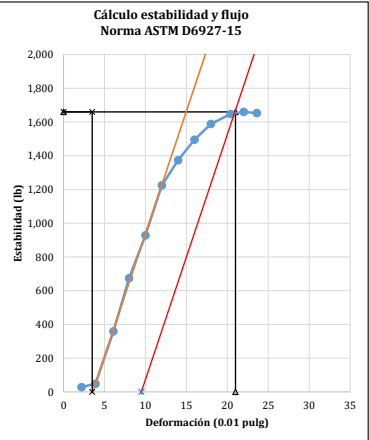
NUCLEO N° 1			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	18	1.76	27
2	33	3.34	29
3	46	4.57	99
4	62	6.15	190
5	76	7.56	368
6	93	9.32	580
7	111	11.08	791
8	125	12.48	910
9	139	13.89	1090
10	155	15.47	1240
11	171	17.14	1364
12	186	18.64	1447
13	206	20.57	1500
14	224	22.42	1525
15	240	24.00	1512

NUCLEO N° 2			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	22	2.20	28
2	39	3.90	49
3	61	6.10	359
4	80	8.00	674
5	100	10.00	928
6	120	12.00	1224
7	140	14.00	1374
8	160	16.00	1495
9	180	18.00	1589
10	204	20.40	1648
11	220	22.00	1660
12	236	23.60	1653

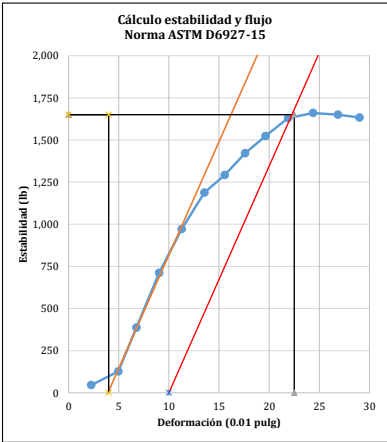
NUCLEO N° 3			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	23	2.26	46
2	50	4.96	127
3	68	6.77	387
4	90	9.03	712
5	113	11.28	972
6	135	13.54	1188
7	156	15.57	1292
8	176	17.60	1421
9	196	19.63	1523
10	219	21.89	1630
11	244	24.37	1660
12	269	26.86	1650
13	290	29.00	1633



Estabilidad (lb)	1525
Flujo (0.01 pulg)	20.0



Estabilidad (lb)	1660
Flujo (0.01 pulg)	17.5



Estabilidad (lb)	1650
Flujo (0.01 pulg)	18.5



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

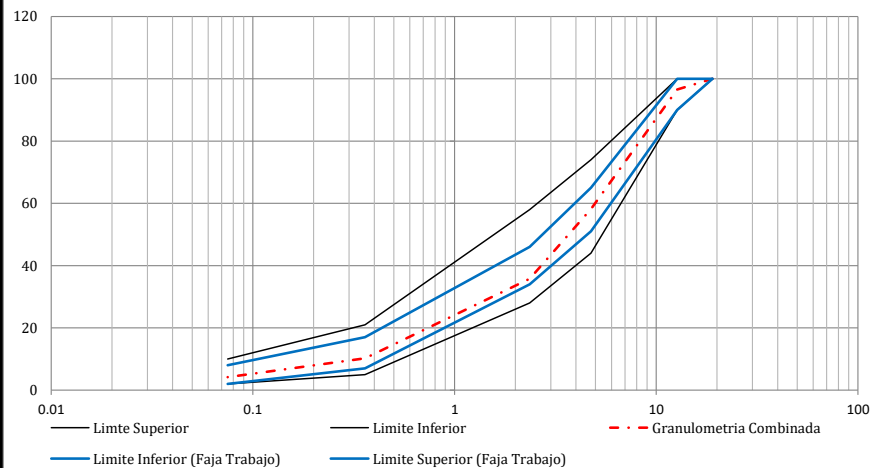
Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927
Fecha de Tendido : 29/04/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Material : Mezcla Asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Abscisa : 0+993

Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect.				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	901.3	902.5	516.1	386.4	2.333								1820	1.67	3039		20.5
3/8	52	2.65	49.01			2	895.3	896.4	513.7	382.7	2.340								1830	1.67	3056		19.0
Arena	30	2.57	28.28			3	926.4	928.3	552.5	375.8	2.465	ASTM D-2041							1880	1.79	3365		18.5
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.605	100.00	2.72	1.71	Prom.					2.379	2.484	86.08	4.22	9.70	14	4.13	70			3154		19.3
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5		> 14		65-78			>1800		8-14

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1000.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				936.8		
Peso de filtro inicial, g				20.90		
Peso de filtro final, g				22.55		
Peso atrapado en filtro, g				1.65		
Contenido de betún asfáltico en %				6.16		
Relación filler / betún				1.0		
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	32.30	32.30	3.45	97	90-100	90-100
3/8	120.50	152.80	16.31	84		
No.4	239.30	392.10	41.86	58	44-74	51-65
No. 8	209.30	601.40	64.20	36	28-58	34-46
No.16	102.20	703.60	75.11	25		
No.30	86.50	790.10	84.34	16		
No.50	50.80	840.90	89.76	10	5-21	7-17
No.100	20.90	861.80	91.99	8		
No.200	35.90	897.70	95.83	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	39.10					

Curva Granulométrica



Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	183.47	1.04
Coefficiente de variación	5.82	5.38
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	291.9	



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

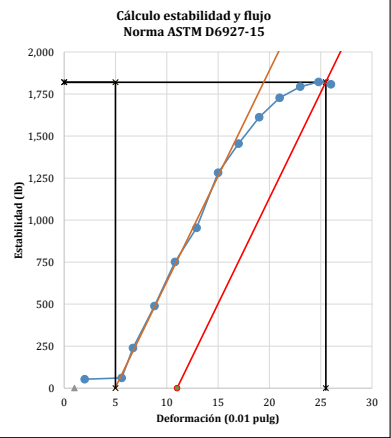
Ensayo :	ENSAYO MARSHALL.	Lugar de muestreo:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material :	Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	05/07/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Guazhalan
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	0+993

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

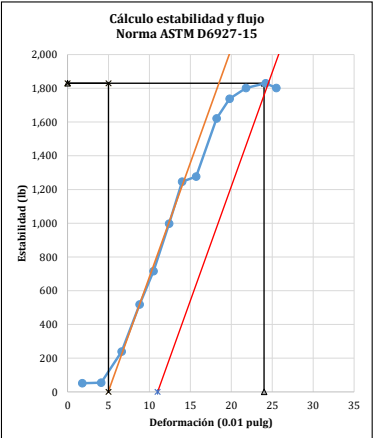
NUCLEO N° 1			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	20	2.00	53
2	56	5.60	61
3	67	6.70	239
4	88	8.80	488
5	108	10.80	751
6	129	12.90	954
7	150	15.00	1282
8	170	17.00	1455
9	190	19.00	1612
10	210	21.00	1728
11	230	23.00	1793
12	248	24.80	1822
13	260	26.00	1808

NUCLEO N° 2			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	18	1.80	51
2	41	4.10	55
3	66	6.60	239
4	88	8.80	518
5	105	10.50	716
6	124	12.40	997
7	140	14.00	1247
8	157	15.70	1277
9	182	18.20	1621
10	198	19.80	1738
11	218	21.80	1802
12	242	24.20	1830
13	255	25.50	1802

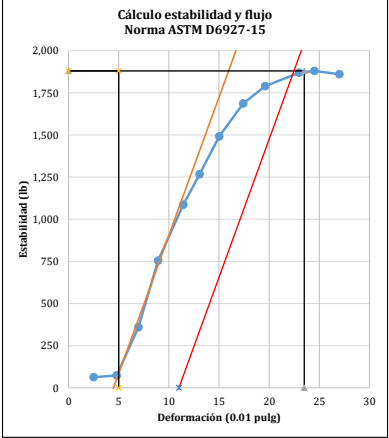
NUCLEO N° 3			
Lectura	Deformación		Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg	
1	25	2.50	63
2	48	4.79	74
3	70	6.97	359
4	89	8.93	754
5	114	11.43	1086
6	131	13.06	1267
7	150	15.02	1491
8	174	17.42	1687
9	196	19.60	1790
10	230	23.00	1870
11	245	24.50	1880
12	270	27.00	1860



Estabilidad (lb)	1820
Flujo (0.01 pulg)	20.5



Estabilidad (lb)	1830
Flujo (0.01 pulg)	19.0



Estabilidad (lb)	1880
Flujo (0.01 pulg)	18.5



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

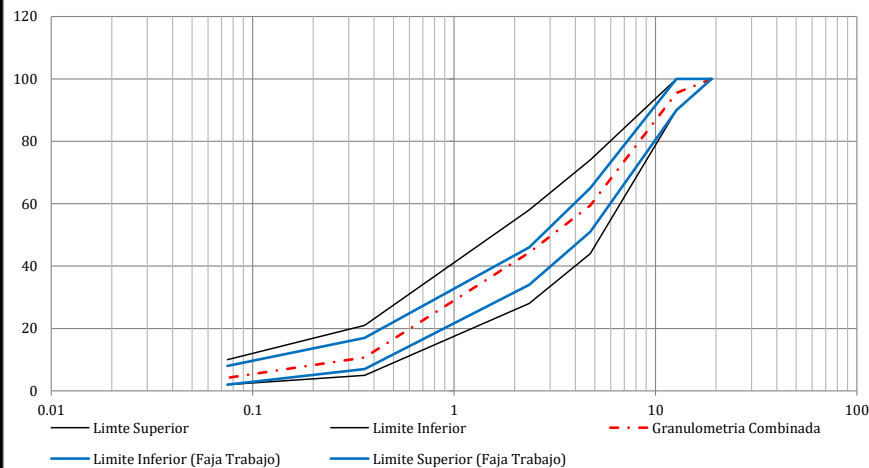
Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927
Fecha de Tendido : 02/05/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Material : Mezcla Asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Abscisa : 0+241

Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)	
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb			
3/4	18	2.60	16.97			1	1003.9	1006.5	588.3	418.2	2.401	ASTM D-2041							1820	1.47	2675		18.5	
3/8	52	2.65	49.01			2	995.0	999.1	585.1	413.9	2.404									1920	1.47	2822		20.4
Arena	30	2.57	28.28			3	1035.0	1036.4	594.1	442.3	2.340									2280	1.32	3010		22.0
Asfalto	6.1	1.014	5.75																					
TOTAL	106.1	2.605	100.00	2.70	1.33	Prom.					2.382		2.462	86.17	3.26	10.57	14	4.50	76			2836		20.3
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5			> 14		65-78			>1800		8-14

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g					1000.0	
Peso muestra final (luego de lavado), g					937.5	
Peso de filtro inicial, g					21.50	
Peso de filtro final, g					23.20	
Peso atrapado en filtro, g					1.70	
Contenido de betún asfáltico en %					6.08	
Relación filler / betún					0.9	0.8 ≤ F/B ≤ 1.2
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100-00
1/2	42.00	42.00	4.48	96	90-100	90-100
3/8	43.00	85.00	9.07	91		
No.4	295.20	380.20	40.55	59	44-74	51-65
No.8	141.80	522.00	55.68	44	28-58	34-46
No.16	170.30	692.30	73.85	26		
No.30	87.90	780.20	83.22	17		
No.50	57.00	837.20	89.30	11	5-21	7-17
No.100	33.10	870.30	92.83	7		
No.200	28.00	898.30	95.82	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	39.20					

Curva Granulométrica



Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	167.50	1.75
Coefficiente de variación	5.91	8.63
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	250.0	



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

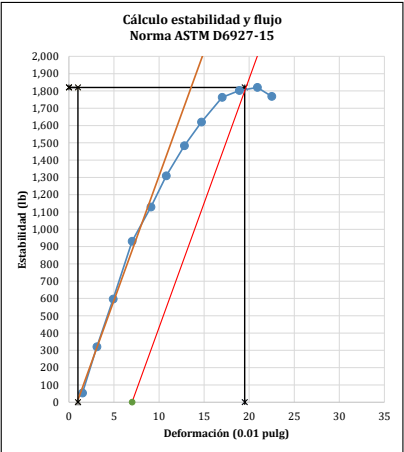
Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material :	Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	05/07/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	0+241

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

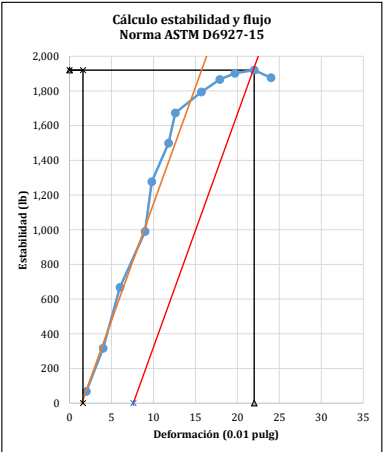
NUCLEO N° 1				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	15	1.50		53
2	31	3.10		321
3	49	4.90		596
4	70	7.00		931
5	91	9.10		1129
6	108	10.80		1309
7	128	12.80		1483
8	147	14.70		1620
9	170	17.00		1763
10	189	18.90		1802
11	209	20.90		1820
12	225	22.50		1769

NUCLEO N° 2				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	20	2.00		68
2	40	4.00		317
3	60	6.00		667
4	90	9.00		990
5	98	9.80		1277
6	118	11.80		1499
7	126	12.60		1673
8	157	15.70		1794
9	179	17.90		1866
10	197	19.70		1902
11	220	22.00		1920
12	240	24.00		1876

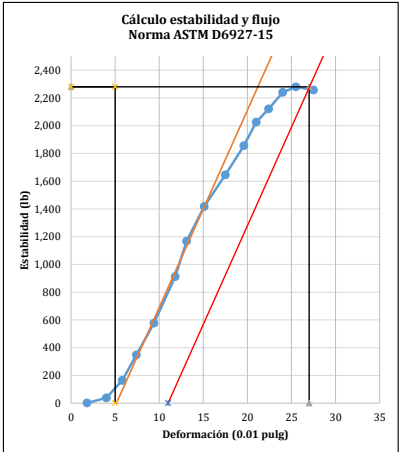
NUCLEO N° 3				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	18	1.80		1
2	40	4.00		38
3	58	5.80		164
4	74	7.40		347
5	94	9.40		577
6	118	11.80		912
7	131	13.10		1168
8	151	15.10		1418
9	175	17.50		1646
10	196	19.60		1856
11	210	21.00		2026
12	224	22.40		2121
13	240	24.00		2240
14	255	25.50		2280
15	275	27.50		2256



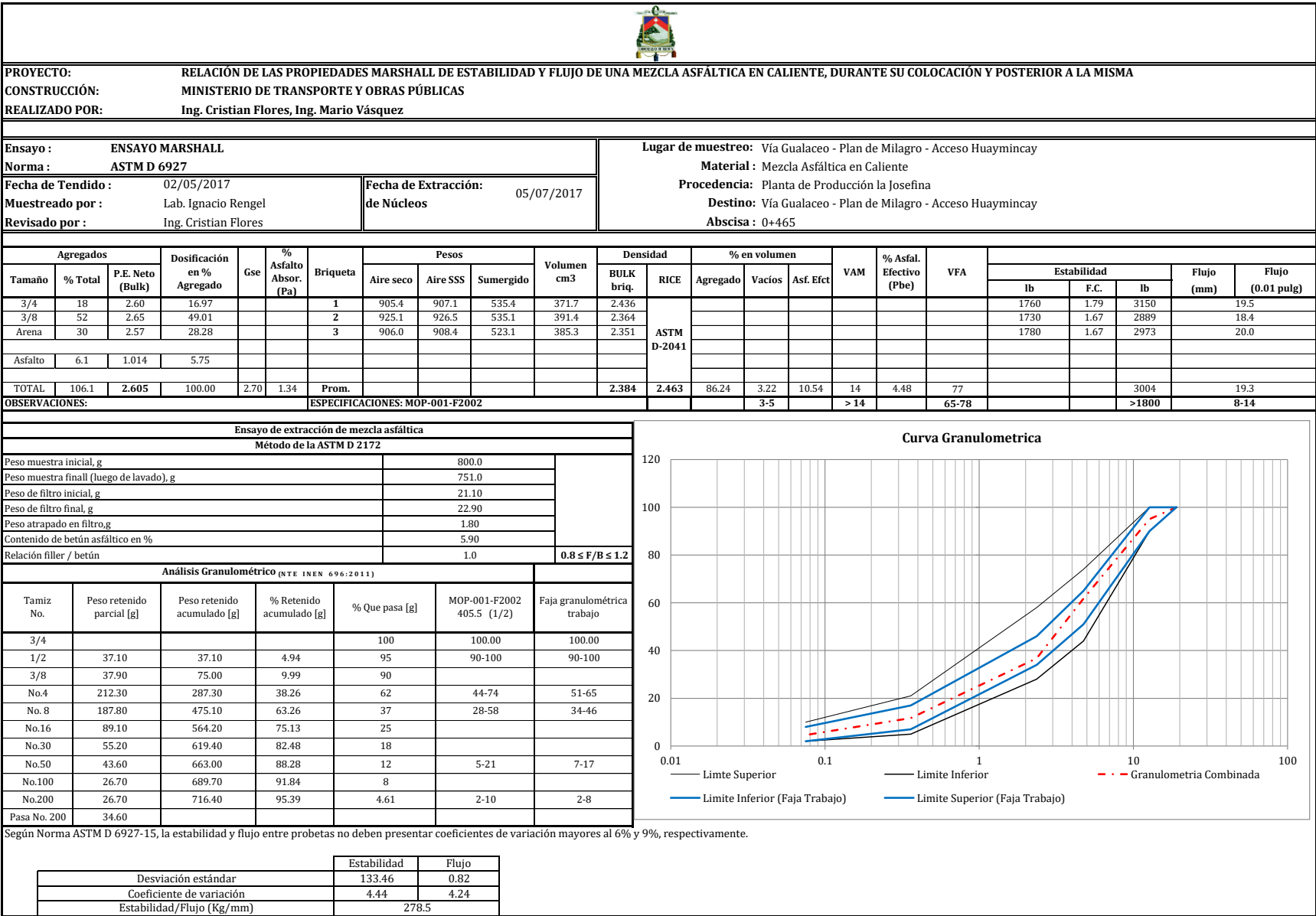
Estabilidad (lb)	1820
Flujo (0.01 pulg)	18.5



Estabilidad (lb)	1920
Flujo (0.01 pulg)	20.4



Estabilidad (lb)	2280
Flujo (0.01 pulg)	22.0





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

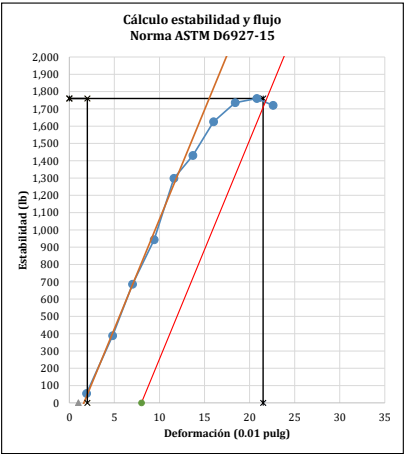
Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material : Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	05/07/2017	Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa : 0+465

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

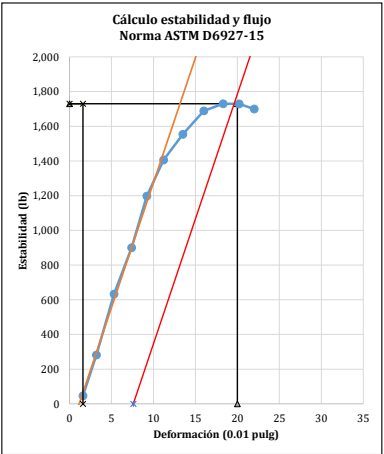
NUCLEO N° 1				
Lectura #	Deformación			Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	19	1.90		54
2	48	4.80		388
3	70	7.00		686
4	94	9.40		943
5	116	11.60		1299
6	137	13.70		1431
7	160	16.00		1625
8	184	18.40		1736
9	208	20.80		1760
10	226	22.60		1720

NUCLEO N° 2				
Lectura #	Deformación			Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	16	1.60		47
2	32	3.20		282
3	53	5.30		633
4	74	7.40		900
5	92	9.20		1198
6	112	11.20		1406
7	135	13.50		1554
8	160	16.00		1689
9	183	18.30		1730
10	202	20.20		1729
11	220	22.00		1700

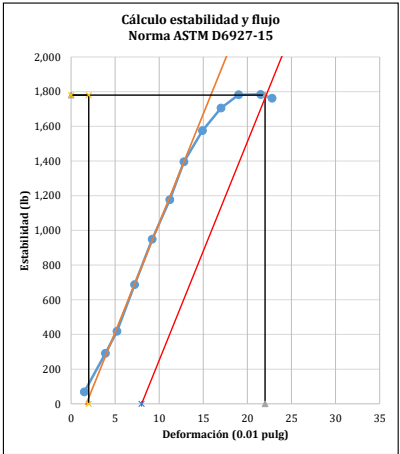
NUCLEO N° 3				
Lectura #	Deformación			Estabilidad (lb)
	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	15	1.50		69
2	39	3.90		291
3	52	5.20		418
4	72	7.20		687
5	92	9.20		949
6	112	11.20		1177
7	128	12.80		1395
8	149	14.90		1575
9	170	17.00		1705
10	190	19.00		1782
11	215	21.50		1784
12	228	22.80		1762



Estabilidad (lb)	1760
Flujo (0.01 pulg)	19.5



Estabilidad (lb)	1730
Flujo (0.01 pulg)	18.4



Estabilidad (lb)	1780
Flujo (0.01 pulg)	20.0



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927

Fecha de Tendido : 03/05/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Fecha de Extracción:
de Núcleos 05/07/2017

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay

Material : Mezcla Asfáltica en Caliente

Procedencia: Planta de Producción la Josefina

Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay

Abscisa : 0+765

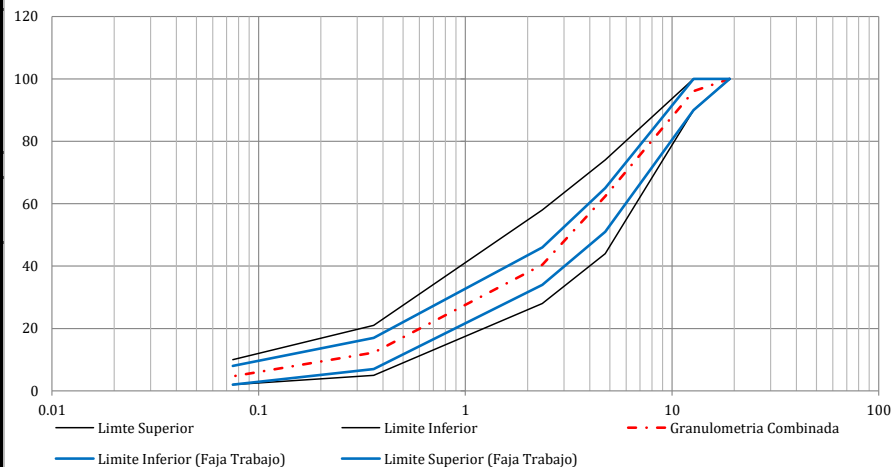
Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Ect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	936.1	938.5	540.5	398.0	2.352	ASTM D-2041							1780	1.56	2777		22.5
3/8	52	2.65	49.01			2	913.1	914.6	524.1	390.5	2.338								1630	1.67	2722		23.0
Arena	30	2.57	28.28			3	942.5	945.6	540.1	405.5	2.324								1800	1.56	2808		19.5
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.605	100.00	2.68	1.13	Prom.					2.338	2.451	84.60	4.60	10.80	15	4.68	70			2769		21.7
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5		> 14		65-78			>1800		8-14

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				800.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				749.0		
Peso de filtro inicial, g				21.40		
Peso de filtro final, g				23.10		
Peso atrapado en filtro,g				1.70		
Contenido de betún asfáltico en %				6.16		
Relación filler / betún				1.0		0.8 ≤ F/B ≤ 1.2
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	29.20	29.20	3.90	96	90-100	90-100
3/8	46.10	75.30	10.05	90		
No.4	206.40	281.70	37.61	62	44-74	51-65
No. 8	164.70	446.40	59.60	40	28-58	34-46
No.16	105.60	552.00	73.70	26		
No.30	62.40	614.40	82.03	18		
No.50	42.80	657.20	87.74	12	5-21	7-17
No.100	37.40	694.60	92.74	7		
No.200	19.40	714.00	95.33	4.67	2-10	2-8
Pasa No. 200	35.00					

Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	43.48	1.89
Coefficiente de variación	1.57	8.74
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	228.7	

Curva Granulometrica





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927 - 15
Fecha de Muestreo : 05/07/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

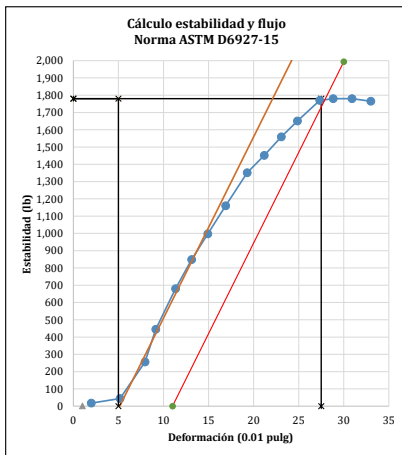
Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Material : Mezcla asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Abscisa : 0+765

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

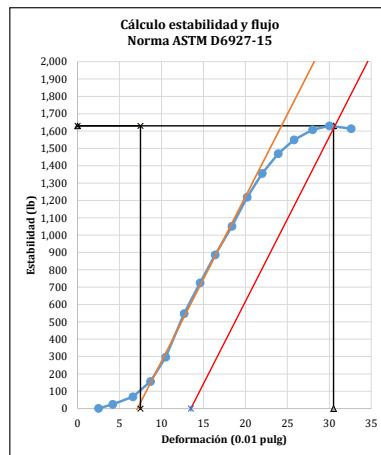
NUCLEO N° 1				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	20	1.99		18
2	52	5.17		44
3	80	7.95		256
4	91	9.14		444
5	113	11.33		680
6	131	13.12		848
7	149	14.91		997
8	169	16.90		1159
9	193	19.28		1351
10	212	21.17		1451
11	231	23.06		1558
12	248	24.85		1650
13	273	27.33		1770
14	288	28.83		1780
15	309	30.91		1780
16	330	33.00		1765

NUCLEO N° 2				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	25	2.50		1
2	42	4.20		25
3	66	6.60		68
4	87	8.70		156
5	105	10.50		297
6	127	12.70		547
7	146	14.60		725
8	164	16.40		886
9	184	18.40		1052
10	202	20.20		1218
11	220	22.00		1356
12	239	23.90		1470
13	258	25.80		1549
14	280	28.00		1607
15	300	30.00		1630
16	326	32.60		1614

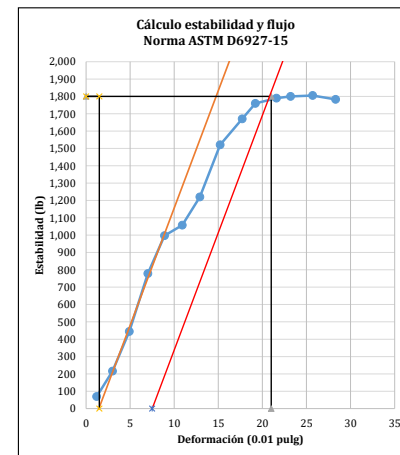
NUCLEO N° 3				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	12	1.20		69
2	30	3.00		216
3	49	4.90		445
4	70	7.00		779
5	89	8.90		997
6	109	10.90		1058
7	129	12.90		1220
8	152	15.20		1521
9	177	17.70		1670
10	192	19.20		1760
11	216	21.60		1790
12	232	23.20		1800
13	257	25.70		1805
14	283	28.30		1783



Estabilidad (lb)	1780
Flujo (0.01 pulg)	22.5



Estabilidad (lb)	1630
Flujo (0.01 pulg)	23.0



Estabilidad (lb)	1800
Flujo (0.01 pulg)	19.5



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927

Fecha de Tendido : 03/05/2017

Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel

Revisado por : Ing. Cristian Flores

Fecha de Extracción:
de Núcleos 05/07/2017

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay

Material : Mezcla Asfáltica en Caliente

Procedencia: Planta de Producción la Josefina

Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay

Abscisa : 1+080

Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Ect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	961.2	962.5	549.7	412.8	2.328	ASTM D-2041							2100	1.47	3087		16.1
3/8	52	2.65	49.01			2	998.4	999.8	578.3	421.6	2.368								2230	1.39	3100		19.0
Arena	30	2.57	28.28			3	1000.8	1001.3	580.2	421.1	2.377								2280	1.39	3169		17.0
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.605	100.00	2.70	1.34	Prom.					2.358	2.463	85.31	4.27	10.42	15	4.48	71			3119		17.4
OBSERVACIONES:							ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002							3-5		> 14		65-78			>1800		8-14

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica

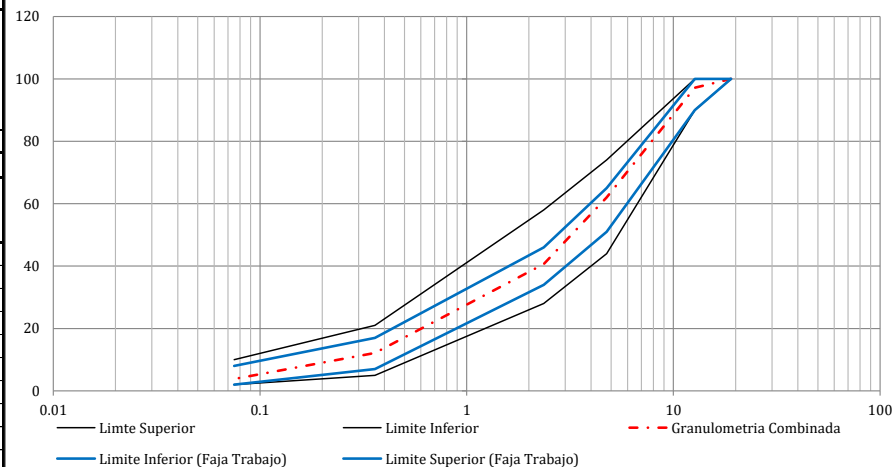
Método de la ASTM D 2172

Peso muestra inicial, g	1000.0
Peso muestra final (luego de lavado), g	935.7
Peso de filtro inicial, g	21.60
Peso de filtro final, g	23.10
Peso atrapado en filtro, g	1.50
Contenido de betún asfáltico en %	6.28
Relación filler / betún	0.9

Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)

Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100-00
1/2	26.50	26.50	2.83	97	90-100	90-100
3/8	51.50	78.00	8.34	92		
No.4	277.30	355.30	37.97	62	44-74	51-65
No. 8	200.00	555.30	59.35	41	28-58	34-46
No.16	144.80	700.10	74.82	25		
No.30	80.20	780.30	83.39	17		
No.50	41.80	822.10	87.86	12	5-21	7-17
No.100	40.00	862.10	92.13	8		
No.200	37.80	899.90	96.17	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	35.80					

Curva Granulometrica



Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	44.25	1.48
Coefficiente de variación	1.42	8.55
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	321.4	



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

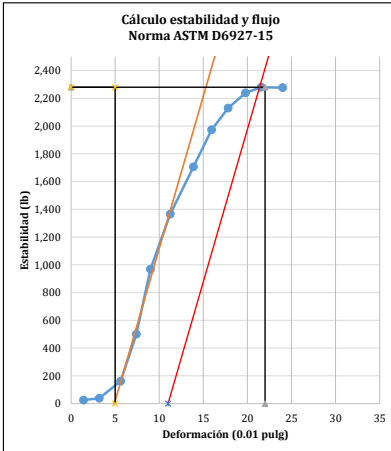
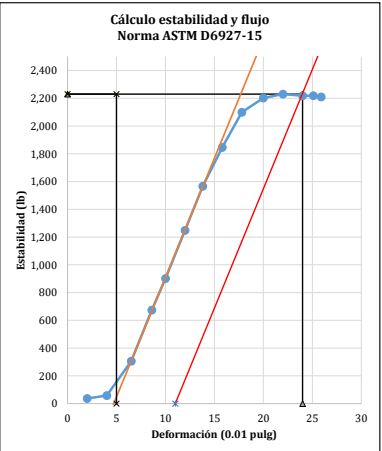
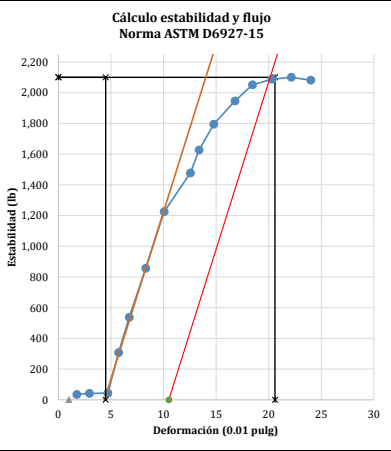
Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material :	Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	05/07/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	1+080

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

NUCLEO N° 1				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01	pulg	
1	18	1.75		35
2	30	2.95		41
3	47	4.71		44
4	57	5.72		308
5	67	6.74		538
6	83	8.31		857
7	101	10.06		1225
8	126	12.55		1477
9	134	13.38		1627
10	148	14.77		1795
11	168	16.80		1946
12	185	18.46		2051
13	203	20.31		2088
14	222	22.15		2100
15	240	24.00		2082

NUCLEO N° 2				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01	pulg	
1	20	2.00		37
2	40	4.00		57
3	65	6.50		306
4	86	8.60		674
5	100	10.00		901
6	120	12.00		1248
7	138	13.80		1566
8	158	15.80		1846
9	178	17.80		2099
10	200	20.00		2202
11	220	22.00		2230
12	240	24.00		2219
13	251	25.10		2219
14	259	25.90		2210

NUCLEO N° 3				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01	pulg	
1	14.0625	1.41		25
2	31.875	3.19		38
3	56.25	5.63		162
4	74.0625	7.41		501
5	90	9.00		968
6	112.5	11.25		1366
7	138.75	13.88		1706
8	159.375	15.94		1974
9	178.125	17.81		2129
10	197.813	19.78		2239
11	215.625	21.56		2280
12	240	24.00		2277





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927

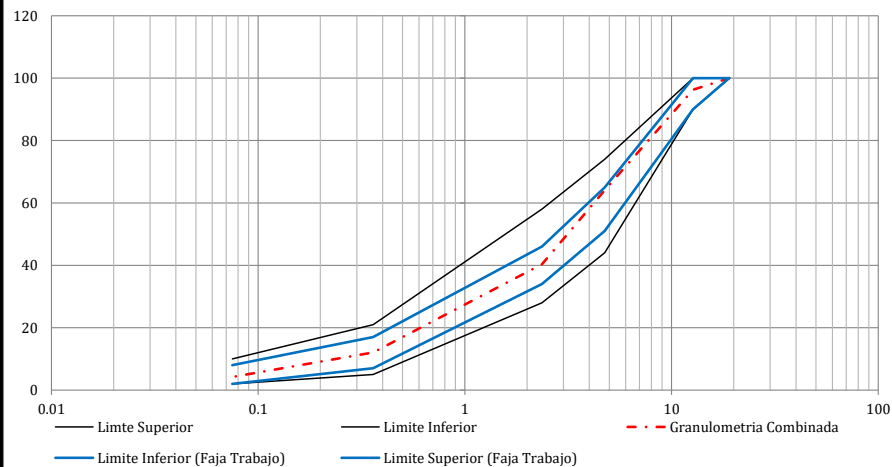
Fecha de Tendido : 04/05/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores
Fecha de Extracción: 05/07/2017
de Núcleos

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Material : Mezcla Asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Abscisa : 1+433

Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb		
3/4	18	2.60	16.97			1	949.0	951.9	549.6	402.2	2.359	ASTM D-2041							1810	1.56	2824		18.6
3/8	52	2.65	49.01			2	937.5	939.2	538.6	400.6	2.341								1840	1.56	2870		20.5
Arena	30	2.57	28.28			3	952.5	954.8	547.7	407.1	2.340								1880	1.47	2764		13.0
Asfalto	6.1	1.014	5.75																				
TOTAL	106.1	2.605	100.00	2.70	1.43	Prom.					2.347	2.468	84.90	4.92	10.18	15	4.40	67			2819		17.4
OBSERVACIONES:						ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002								3-5		> 14		65-78			>1800		8-14

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1000.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				938.6		
Peso de filtro inicial, g				21.30		
Peso de filtro final, g				22.70		
Peso atrapado en filtro, g				1.40		
Contenido de betún asfáltico en %				6.00		
Relación filler / betún				1.0		
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	34.70	34.70	3.70	96	90-100	90-100
3/8	58.60	93.30	9.94	90		
No.4	243.90	337.20	35.93	64	44-74	51-65
No. 8	223.00	560.20	59.68	40	28-58	34-46
No.16	127.30	687.50	73.25	27		
No.30	80.10	767.60	81.78	18		
No.50	57.40	825.00	87.90	12	5-21	7-17
No.100	45.10	870.10	92.70	7		
No.200	28.80	898.90	95.77	4.23	2-10	2-8
Pasa No. 200	39.70					

Curva Granulometrica



Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	53.54	3.90
Coefficiente de variación	1.90	22.45
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	290.5	



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

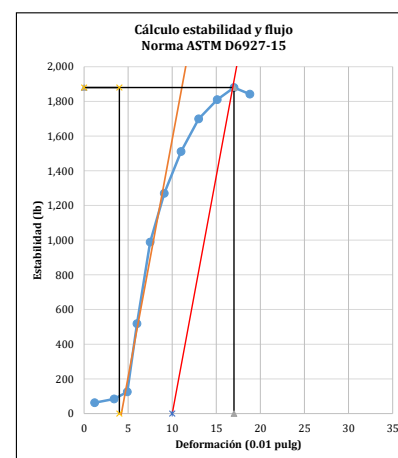
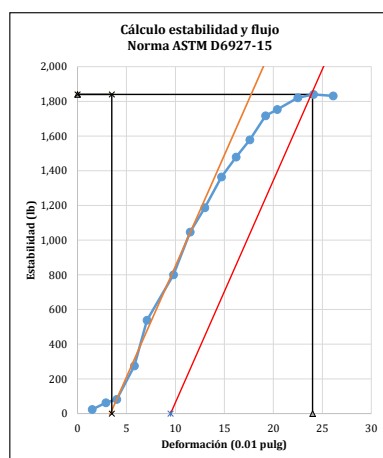
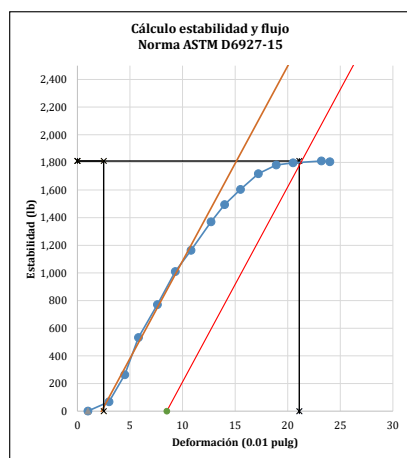
Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material :	Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	05/07/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	1+433

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

NUCLEO N° 1				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	10	1.00		1
2	30	3.00		67
3	45	4.50		264
4	58	5.80		533
5	76	7.60		771
6	93	9.30		1010
7	108	10.80		1164
8	127	12.70		1370
9	140	14.00		1495
10	155	15.50		1604
11	172	17.20		1718
12	189	18.90		1781
13	205	20.50		1797
14	232	23.20		1810
15	240	24.00		1804

NUCLEO N° 2				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	15	1.50		24
2	29	2.90		63
3	40	4.00		82
4	58	5.80		275
5	71	7.10		538
6	98	9.80		800
7	115	11.50		1046
8	130	13.00		1187
9	147	14.70		1364
10	162	16.20		1479
11	176	17.60		1578
12	192	19.20		1717
13	204	20.40		1754
14	225	22.50		1821
15	241	24.10		1840
16	261	26.10		1831

NUCLEO N° 3				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	12	1.20		63
2	34	3.40		84
3	49	4.90		125
4	60	6.00		518
5	75	7.50		988
6	91	9.10		1270
7	110	11.00		1511
8	130	13.00		1699
9	151	15.10		1810
10	170	17.00		1880
11	188	18.80		1841





PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

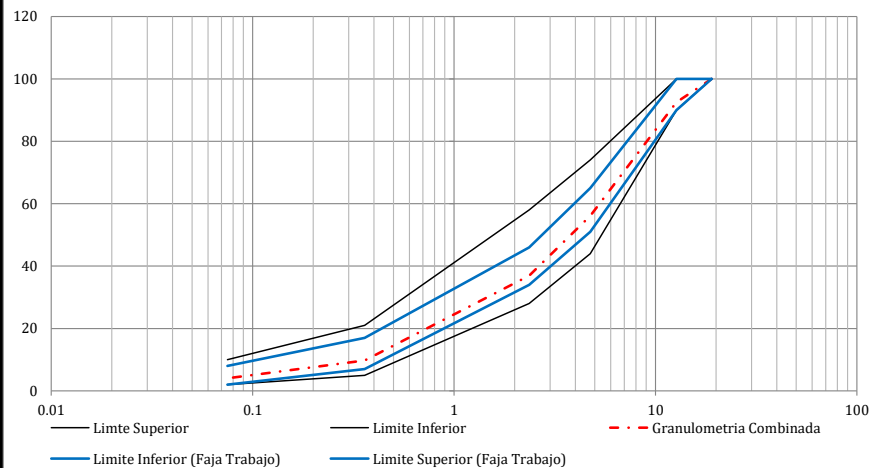
Ensayo : ENSAYO MARSHALL
Norma : ASTM D 6927
Fecha de Tendido : 04/05/2017
Muestreado por : Lab. Ignacio Rengel
Revisado por : Ing. Cristian Flores

Lugar de muestreo: Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Material : Mezcla Asfáltica en Caliente
Procedencia: Planta de Producción la Josefina
Destino: VÍA GUALACEO - PLAN DE MILAGRO - ACCESO HUAYMINCAY
Abscisa : 1+723

Agregados			Dosificación en % Agregado	Gse	% Asfalto Absor. (Pa)	Briqueta	Pesos			Volumen cm3	Densidad		% en volumen			VAM	% Asfal. Efectivo (Pbe)	VFA	Estabilidad			Flujo (mm)	Flujo (0.01 pulg)	
Tamaño	% Total	P.E. Neto (Bulk)					Aire seco	Aire SSS	Sumergido		BULK briq.	RICE	Agregado	Vacios	Asf. Efect				lb	F.C.	lb			
3/4	18	2.60	16.97			1	923.0	923.7	532.5	391.2	2.359	ASTM D-2041							1625	1.67	2714		14.0	
3/8	52	2.65	49.01			2	941.2	942.6	546.1	396.5	2.374								1420	1.56	2215		17.7	
Arena	30	2.57	28.28			3	1008.1	1009.8	589.7	420.1	2.400								1640	1.47	2411		20.5	
Asfalto	6.1	1.014	5.75																					
TOTAL	106.1	2.605	100.00	2.70	1.40	Prom.					2.378		2.466	86.02	3.59	10.39	14	4.43	74			2447		17.4
OBSERVACIONES:						ESPECIFICACIONES: MOP-001-F2002																		
						>1800																	8-14	

Ensayo de extracción de mezcla asfáltica						
Método de la ASTM D 2172						
Peso muestra inicial, g				1000.0		
Peso muestra final (luego de lavado), g				939.1		
Peso de filtro inicial, g				21.07		
Peso de filtro final, g				22.90		
Peso atrapado en filtro, g				1.83		
Contenido de betún asfáltico en %				5.91		
Relación filler / betún				0.9		0.8 ≤ F/B ≤ 1.2
Análisis Granulométrico (NTE INEN 696:2011)						
Tamiz No.	Peso retenido parcial [g]	Peso retenido acumulado [g]	% Retenido acumulado [g]	% Que pasa [g]	MOP-001-F2002 405.5 (1/2)	Faja granulométrica trabajo
3/4				100	100.00	100.00
1/2	70.30	70.30	7.49	93	90-100	90-100
3/8	49.80	120.10	12.79	87		
No.4	292.20	412.30	43.90	56	44-74	51-65
No. 8	180.00	592.30	63.07	37	28-58	34-46
No.16	108.80	701.10	74.66	25		
No.30	101.40	802.50	85.45	15		
No.50	45.10	847.60	90.26	10	5-21	7-17
No.100	30.70	878.30	93.53	6		
No.200	22.90	901.20	95.96	4	2-10	2-8
Pasa No. 200	37.9					

Curva Granulometrica



Según Norma ASTM D 6927-15, la estabilidad y flujo entre probetas no deben presentar coeficientes de variación mayores al 6% y 9%, respectivamente.

	Estabilidad	Flujo
Desviación estándar	251.19	3.26
Coefficiente de variación	10.27	18.74
Estabilidad/Flujo (Kg/mm)	251.6	



PROYECTO: RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA
CONSTRUCCIÓN: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
REALIZADO POR: Ing. Cristian Flores, Ing. Mario Vásquez

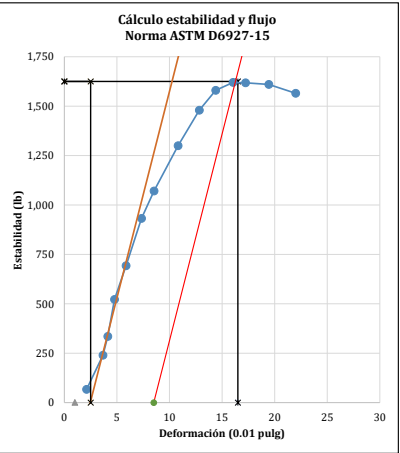
Ensayo :	ENSAYO MARSHALL	Lugar de muestreo:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Norma :	ASTM D 6927 - 15	Material :	Mezcla asfáltica en Caliente
Fecha de Muestreo :	05/07/2017	Procedencia:	Planta de Producción la Josefina
Muestreado por :	Lab. Ignacio Rengel	Destino:	Vía Gualaceo - Plan de Milagro - Acceso Huaymincay
Revisado por :	Ing. Cristian Flores	Abscisa :	1+723

ESTABILIDAD Y FLUJO (NORMA ASTM D 6927)

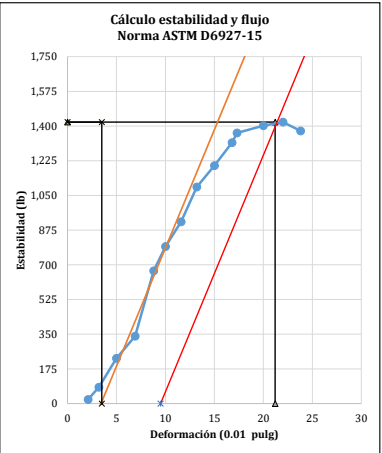
NUCLEO N° 1				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	21	2.11		67
2	37	3.67		239
3	41	4.13		335
4	48	4.77		522
5	59	5.87		693
6	73	7.33		932
7	85	8.53		1071
8	108	10.82		1300
9	128	12.83		1480
10	144	14.39		1580
11	160	16.04		1620
12	172	17.23		1618
13	194	19.43		1610
14	220	22.00		1565
15				

NUCLEO N° 2				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	21	2.10		21
2	32	3.20		83
3	50	5.00		228
4	69	6.90		340
5	88	8.80		669
6	100	10.00		793
7	116	11.60		917
8	132	13.20		1092
9	150	15.00		1200
10	168	16.80		1316
11	173	17.30		1365
12	200	20.00		1402
13	220	22.00		1420
14	238	23.80		1375
15				

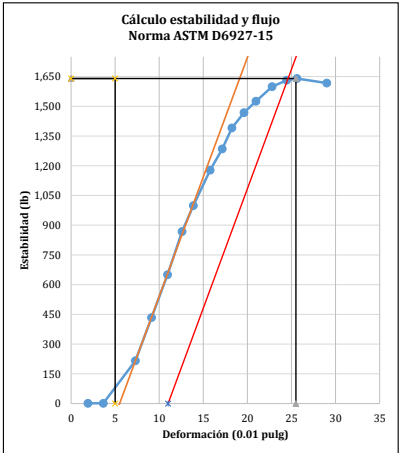
NUCLEO N° 3				
Lectura	Deformación			Estabilidad (lb)
#	0.001 pulg	0.01 pulg		
1	19	1.92		1
2	36	3.65		1
3	73	7.30		216
4	91	9.12		434
5	109	10.94		650
6	126	12.58		868
7	139	13.86		998
8	158	15.78		1177
9	171	17.14		1285
10	182	18.24		1391
11	196	19.61		1468
12	210	20.97		1525
13	228	22.80		1598
14	244	24.44		1631
15	256	25.63		1640
16	290	29.00		1617



Estabilidad (lb)	1625
Flujo (0.01 pulg)	14.0



Estabilidad (lb)	1420
Flujo (0.01 pulg)	17.7



Estabilidad (lb)	1640
Flujo (0.01 pulg)	20.5



RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, DURANTE SU COLOCACIÓN Y POSTERIOR A LA MISMA

ANEXO 5:

CÁLCULOS ESTADÍSTICOS

R version 3.4.1 (2017-06-30) -- "Single Candle"
 Copyright (C) 2017 The R Foundation for Statistical Computing
 Platform: x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit)

R es un software libre y viene sin GARANTIA ALGUNA.
 Usted puede redistribuirlo bajo ciertas circunstancias.
 Escriba 'license()' o 'licence()' para detalles de distribucion.

R es un proyecto colaborativo con muchos contribuyentes.
 Escriba 'contributors()' para obtener más información y
 'citation()' para saber cómo citar R o paquetes de R en publicaciones.

Escriba 'demo()' para demostraciones, 'help()' para el sistema on-line de ayuda,
 o 'help.start()' para abrir el sistema de ayuda HTML con su navegador.
 Escriba 'q()' para salir de R.

[Previously saved workspace restored]

```
> #Carga de todos los datos de porcentaje de vacíos
> vtodo<-read.table(file.choose(),header=TRUE,dec=".")
> attach(vtodo)
> vtodo
```

	Vacios	Edad
1	4.95	0
2	3.83	0
3	3.00	0
4	4.90	0
5	3.82	0
6	4.04	0
7	3.99	0
8	3.74	0
9	4.82	0
10	3.87	30
11	3.05	30
12	4.76	30
13	4.70	30
14	4.88	30
15	5.84	30
16	4.94	30
17	5.97	30
18	4.70	30
19	3.26	60
20	4.93	60
21	3.22	60
22	4.95	60
23	4.60	60
24	4.22	60
25	4.27	60
26	4.92	60
27	3.59	60

```
>
> #Comprobación de normalidad con Test de Shapiro-Wilk
> tapply(Vacios,Edad,shapiro.test)
$`0`
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: X[[i]]
W = 0.89708, p-value = 0.2355
```

```
$`30`
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: X[[i]]
W = 0.91707, p-value = 0.3685
```

```
$`60`
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: X[[i]]
W = 0.86622, p-value = 0.112
```

```
> #La normalidad de todas las series puede ser aceptada
>
> #se carga las series por pares para realizar prueba T pareada
> #Entre 0 y 30 días
> v030<-read.table(file.choose(),header=TRUE,dec=".")
> attach(v030)
The following objects are masked from vtodo:
```

Edad, Vacios

```
> v030
  Vacios Edad
1    4.95    0
2    3.83    0
3    3.00    0
4    4.90    0
5    3.82    0
6    4.04    0
7    3.99    0
8    3.74    0
9    4.82    0
10   3.87   30
11   3.05   30
12   4.76   30
13   4.70   30
14   4.88   30
15   5.84   30
16   4.94   30
17   5.97   30
18   4.70   30
>
> t.test(Vacios~Edad,alternative="two.sided",var.equal=FALSE,paired=TRUE)
```

Paired t-test

```
data: Vacios by Edad
t = -1.5519, df = 8, p-value = 0.1593
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -1.5522917  0.3034028
sample estimates:
mean of the differences
      -0.6244444
```

```
> #p-valor superior a 0.025
> #no se puede rechazar la hipótesis nula y por tanto no se puede rechazar la igualdad de las
medias
>
> #se realiza el mismo proceso para las series de datos entre 0 y 60 días
>
> v060<-read.table(file.choose(),header=TRUE,dec=".")
> attach(v060)
The following objects are masked from v030:
```

Edad, Vacios

The following objects are masked from vtodo:

Edad, Vacios

```
> v060
  Vacios Edad
1    4.95    0
2    3.83    0
3    3.00    0
4    4.90    0
5    3.82    0
6    4.04    0
7    3.99    0
8    3.74    0
```

```

9      4.82      0
10     3.26     60
11     4.93     60
12     3.22     60
13     4.95     60
14     4.60     60
15     4.22     60
16     4.27     60
17     4.92     60
18     3.59     60
>
> t.test(Vacios~Edad,alternative="two.sided",var.equal=FALSE,paired=TRUE)

      Paired t-test

data:  Vacios by Edad
t = -0.29642, df = 8, p-value = 0.7745
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.8486955  0.6553622
sample estimates:
mean of the differences
      -0.09666667

> #p-valor superior a 0.025
> #del mismo modo que para las series entre 0 y 30 días
> #no se puede rechazar la hipótesis nula y por tanto no se puede
> #rechazar la igualdad de las medias
>
> #finalmente se realiza la misma comparación entre las series de 30 y 60 días
>
> v3060<-read.table(file.choose(),header=TRUE,dec=".")
> attach(v3060)
The following objects are masked from v060:

      Edad, Vacios

The following objects are masked from v030:

      Edad, Vacios

The following objects are masked from vtodo:

      Edad, Vacios

> v3060
  Vacios Edad
1    3.87   30
2    3.05   30
3    4.76   30
4    4.70   30
5    4.88   30
6    5.84   30
7    4.94   30
8    5.97   30
9    4.70   30
10   3.26   60
11   4.93   60
12   3.22   60
13   4.95   60
14   4.60   60
15   4.22   60
16   4.27   60
17   4.92   60
18   3.59   60
>
> t.test(Vacios~Edad,alternative="two.sided",var.equal=FALSE,paired=TRUE)

      Paired t-test

data:  Vacios by Edad
t = 1.4669, df = 8, p-value = 0.1806
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:

```

```
-0.3018834 1.3574389  
sample estimates:  
mean of the differences  
0.5277778
```

```
> #p-valor mayor a 0.025  
> #se comprueba que tampoco se puede rechazar la hipótesis nula  
> #de manera que no se puede rechazar la igualdad de medias  
> #entre ninguna de las series  
>
```

R version 3.4.1 (2017-06-30) -- "Single Candle"
 Copyright (C) 2017 The R Foundation for Statistical Computing
 Platform: x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit)

R es un software libre y viene sin GARANTIA ALGUNA.
 Usted puede redistribuirlo bajo ciertas circunstancias.
 Escriba 'license()' o 'licence()' para detalles de distribucion.

R es un proyecto colaborativo con muchos contribuyentes.
 Escriba 'contributors()' para obtener más información y
 'citation()' para saber cómo citar R o paquetes de R en publicaciones.

Escriba 'demo()' para demostraciones, 'help()' para el sistema on-line de ayuda,
 o 'help.start()' para abrir el sistema de ayuda HTML con su navegador.
 Escriba 'q()' para salir de R.

[Previously saved workspace restored]

```
> #Carga de todos los datos de estabilidad
> e060<-read.table(file.choose(),header=TRUE,dec=".")
> attach(e060)
> e060
  Estabilidad Edad
1      2465.33    0
2      2481.67    0
3      2283.67    0
4      2637.00    0
5      2504.00    0
6      2343.33    0
7      2533.33    0
8      2587.33    0
9      2234.00    0
10     2925.67   30
11     2911.00   30
12     2710.67   30
13     2715.00   30
14     2479.33   30
15     2930.33   30
16     2953.33   30
17     2638.67   30
18     2405.00   30
19     2835.67   60
20     3147.67   60
21     3004.00   60
22     2581.00   60
23     2769.00   60
24     3153.33   60
25     3118.67   60
26     2819.33   60
27     2446.67   60
>
> #Comprobación de normalidad con Test de Shapiro-Wilk
> tapply(Estabilidad,Edad,shapiro.test)
$`0`
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data:  X[[i]]
W = 0.94402, p-value = 0.6247
```

\$`30`

Shapiro-Wilk normality test

```
data:  X[[i]]
W = 0.88029, p-value = 0.1581
```

\$`60`

Shapiro-Wilk normality test

```
data: X[[i]]
W = 0.91785, p-value = 0.3747
```

```
> #La normalidad de todas las series puede ser aceptada
>
> #se carga las series por pares para realizar prueba T pareada
> #Entre 0 y 30 días
> e030<-read.table(file.choose(),header=TRUE,dec=".")
> attach(e030)
The following objects are masked from e060:
```

Edad, Estabilidad

```
> e030
  Estabilidad Edad
1      2465.33    0
2      2481.67    0
3      2283.67    0
4      2637.00    0
5      2504.00    0
6      2343.33    0
7      2533.33    0
8      2587.33    0
9      2234.00    0
10     2925.67   30
11     2911.00   30
12     2710.67   30
13     2715.00   30
14     2479.33   30
15     2930.33   30
16     2953.33   30
17     2638.67   30
18     2405.00   30
> t.test(Estabilidad~Edad,alternative="less",var.equal=FALSE,paired=TRUE)
```

Paired t-test

```
data: Estabilidad by Edad
t = -3.9375, df = 8, p-value = 0.002155
alternative hypothesis: true difference in means is less than 0
95 percent confidence interval:
 -Inf -152.4179
sample estimates:
mean of the differences
      -288.8156
```

```
> #p-valor inferior a 0.05
> #se rechaza hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa
> #media del primer grupo menor a la del segundo grupo
>
> #se realiza el mismo proceso para las series de datos entre 30 y 60 días
> e3060<-read.table(file.choose(),header=TRUE,dec=".")
> attach(e3060)
The following objects are masked from e030:
```

Edad, Estabilidad

The following objects are masked from e060:

Edad, Estabilidad

```
> t.test(Estabilidad~Edad,alternative="less",var.equal=FALSE,paired=TRUE)

Paired t-test
```

```
data: Estabilidad by Edad
t = -2.532, df = 8, p-value = 0.01757
alternative hypothesis: true difference in means is less than 0
95 percent confidence interval:
 -Inf -35.59937
sample estimates:
mean of the differences
      -134.0378
```

```
> #p-valor inferior a 0.05
> #se rechaza hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa
> #la media del primer grupo es menor que la del segundo
>
```

```
R version 3.4.1 (2017-06-30) -- "Single Candle"
Copyright (C) 2017 The R Foundation for Statistical Computing
Platform: x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit)
```

R es un software libre y viene sin GARANTIA ALGUNA.
Usted puede redistribuirlo bajo ciertas circunstancias.
Escriba 'license()' o 'licence()' para detalles de distribucion.

R es un proyecto colaborativo con muchos contribuyentes.
Escriba 'contributors()' para obtener más información y
'citation()' para saber cómo citar R o paquetes de R en publicaciones.

Escriba 'demo()' para demostraciones, 'help()' para el sistema on-line de ayuda,
o 'help.start()' para abrir el sistema de ayuda HTML con su navegador.
Escriba 'q()' para salir de R.

[Previously saved workspace restored]

```
> #Carga de todos los datos de flujo
> f060<-read.table(file.choose(),header=TRUE,dec=".")
> attach(f060)
> f060
  Flujo Edad
1  12.40    0
2  12.46    0
3  12.13    0
4  12.73    0
5  13.73    0
6  12.80    0
7  12.87    0
8  13.33    0
9  13.20    0
10 14.20   30
11 20.74   30
12 15.27   30
13 17.85   30
14 14.13   30
15 19.69   30
16 14.50   30
17 14.40   30
18 11.87   30
19 20.30   60
20 23.67   60
21 19.30   60
22 18.67   60
23 21.67   60
24 19.33   60
25 17.37   60
26 17.37   60
27 17.40   60
>
> #Comprobación de normalidad con Test de Shapiro-Wilk
> tapply(Flujo,Edad,shapiro.test)
$`0`
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data:  X[[i]]
W = 0.97618, p-value = 0.9418
```

```
$`30`
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data:  X[[i]]
W = 0.89592, p-value = 0.2293
```

```
$`60`
```

Shapiro-Wilk normality test


```
data: X[[i]]
W = 0.89158, p-value = 0.2071
```

```
> #La normalidad de todas las series puede ser aceptada
>
> #se carga las series por pares para realizar prueba T pareada
> #Entre 0 y 30 días
> f030<-read.table(file.choose(),header=TRUE,dec=".")
> attach(f030)
The following objects are masked from f060:

    Edad, Flujo

> t.test(Flujo~Edad,alternative="less",var.equal=FALSE,paired=TRUE)

    Paired t-test

data: Flujo by Edad
t = -2.8447, df = 8, p-value = 0.01083
alternative hypothesis: true difference in means is less than 0
95 percent confidence interval:
    -Inf -1.038943
sample estimates:
mean of the differences
                -3

> #p-valor inferior a 0.05
> #se rechaza hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa
> #media del primer grupo menor a la del segundo grupo
>
> #se realiza el mismo proceso para las series de datos entre 30 y 60 días
> f3060<-read.table(file.choose(),header=TRUE,dec=".")
> attach(f3060)
The following objects are masked from f030:

    Edad, Flujo

The following objects are masked from f060:

    Edad, Flujo

> t.test(Flujo~Edad,alternative="less",var.equal=FALSE,paired=TRUE)

    Paired t-test

data: Flujo by Edad
t = -4.3037, df = 8, p-value = 0.001301
alternative hypothesis: true difference in means is less than 0
95 percent confidence interval:
    -Inf -2.046413
sample estimates:
mean of the differences
                -3.603333

> #p-valor inferior a 0.05
> #se rechaza hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa
> #la media del primer grupo es menor que la del segundo
>
```