UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**Propuesta Teórica de Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente producida a
Temperatura Ambiente Menor a Seis Grados Centígrados en Perú**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Chavez Cervantes, Holmer Pitter (0000-0001-6978-1202)

Pezo Irazabal, Anders (0000-0002-8380-5407)

ASESOR

Llerena Cano, Donald Gustavo (0000-0002-8260-4099)

Lima, 23 de agosto de 2020

DEDICATORIA

Antes de todo, agradezco a Dios por haber sido la luz y guía en mi vida; por darme la vida, salud y por todos los logros y metas alcanzados hasta la actualidad. Del mismo modo, agradezco a mi madre Rosina Cervantes por haberme forjado como la persona que soy hoy en día, por todos sus consejos, apoyo y el amor incondicional desde siempre. A mi esposa Gabriela, por lo que representa para mí y ser parte importante en mi familia que amo. A mi Hijo Patrick, quien es parte fundamental en mi vida para desarrollarme como una mejor persona día a día y por su amor y apoyo incondicional dándome el tiempo necesario para realizarme profesionalmente.

Holmer Chávez

A Dios por brindarme una familia unidad, darme la fortaleza y guiarme siempre, sobre todo a lo largo de mi vida universitaria.

A mis padres Heraclea Irazabal G. y Pedro A. Pezo L. Por la educación, valores y confiar en mí, son ellos quienes siempre me apoyan en las decisiones que tomo.

A mis hermanos Emil L., Pedro A. y Niels Pezo Irazábal por apoyarme en cada paso que doy con sus consejos acertados y a mis sobrinos Vania L., Niels M., Kent T., Ivanna S., Benjamín A. y Adriana C. Mi motivación.

Anders Pezo Irazabal

AGRADECIMIENTOS

A nuestro asesor de tesis el Ing. Llerena Cano, Donald Gustavo, por habernos brindado la oportunidad de compartir su experiencia, conocimiento científico y sobre todo por habernos tenido toda la paciencia para guiarnos durante todo el desarrollo de la tesis y el *paper*.

Y agradecemos a nuestros familiares por ser un apoyo incondicional en todos los problemas e inconvenientes que tuvimos a lo largo de nuestra vida universitaria y laboral, sobre todo el amor que iba creciendo en las dificultades.

RESUMEN

La presente investigación hace mención al análisis en laboratorio con respecto a la colocación de asfalto a una temperatura menor a seis grados centígrados, teniendo en consideración que el Perú cuenta con diferentes tipos de climas a lo largo y ancho de su territorio, esto hace que la producción de asfalto y su colocación sea una dificultad para cualquier tipo de proyecto de carreteras, la cual nos dirige a una realidad en la producción de asfalto en caliente, ya que sabiendo las normas y manuales con las que actualmente contamos hace que la colocación sea imposible a una temperatura menor a seis grados centígrados. La investigación se focaliza en un análisis cualitativo – cuantitativo la cual debe cumplir con los parámetros de calidad (Ensayos), manual de carreteras (EG - 2013) y proceso constructivo (método Marshall) la realización de la propuesta de mezcla asfáltica va a variar en el porcentaje de diferentes tipos de filler que hemos considerado para la investigación (cal, cemento portland tipo I y sílice). Para los ensayos se realizaron probetas sin ningún tipo de aditivos, las probetas una vez preparadas a 140°C se sometieron a congelamiento dando como resultado, de los tres tipos de filler, que la mezcla asfáltica en caliente con incorporación de cemento portland tipo I a un 5,90% de cemento asfáltico es el óptimo cumpliendo con los parámetros y especificaciones técnicas del manual de carreteras.

Palabras clave: Metodología Marshall; ensayos de calidad (Lottman); porcentaje de filler; combinación de agregados; contenido óptimo de asfalto; Manual de carreteras y especificaciones técnicas generales de construcción EG – 2013.

Theoretical proposal of design of hot asphalt mix produced at a room temperature below six degrees centigrade in peru

ABSTRACT

The present investigation mentions the laboratory analysis regarding the placement of asphalt at a temperature below six degrees centigrade, taking into account that Peru has different types of climates throughout its territory, this makes the asphalt production and its placement is a difficulty for any type of road project, which leads us to a reality in the production of hot asphalt, since knowing the standards we currently have, that makes placement impossible to a temperature below six degrees centigrade. The research is focused on a qualitative - quantitative analysis which must comply with the quality parameters (Tests), road manual (EG - 2013) and constructive process (Marshall method) the realization of the asphalt mix proposal will vary in the percentage of different types of filler that we have considered for the research (lime, portland cement type I and silica). For the tests, test tubes were carried out without any type of additives, once the test tubes were prepared at 140°C, they were subjected to freezing, resulting, of the three types of filler, that the hot asphalt mix with incorporation of portland cement type I at a 5,90% asphalt cement is the optimal one complying with the parameters and technical specifications of the road manual.

Keywords: Marshall methodology; quality tests (Lottman); filler percentage; aggregate combination; optimal asphalt content; road manual, general technical specifications for construction EG-2013.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	10
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.3 ESTADO DEL ARTE.....	14
1.4 HIPÓTESIS.....	16
1.5 OBJETIVO GENERAL	16
1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.7 DESCRIPCIÓN DE CONTENIDO	16
2. CAPITULO 1.....	18
2.1 MARCO TEÓRICO.....	18
2.1.1 Mezclas Asfálticas En Caliente	18
2.1.2 Metodología Marshall	18
2.1.3 Filler o Polvo Mineral	33
2.2 METODOLOGÍA DE ENSAYO LOTTMAN PARA MUESTRAS MAC.....	34
Muestreo de Datos:	36
3. CAPITULO II.....	38
3.1 METODOLOGÍA	38
3.2 PROCEDIMIENTO:.....	38
3.2.1 Descripción De Los Instrumentos	38
3.2.2 Validación de Información de cálculos:	42
3.2.3 Procesamiento para análisis de información de cálculos.....	42
3.2.4 Procedimiento de desarrollo	43
3.2.5 Flujograma.....	55
3.3 DISEÑO DE MEZCLA Y PROBETA	56
3.3.1 Secado de agregado finos y Grueso.....	56
3.3.2 Colocación de material en bandeja.....	57
3.3.3 Salida de mezcla asfáltica de horno.....	61
3.3.4 Colocación de MAC en probetas.....	61

3.3.5	Congelamiento de Mezcla	62
3.3.6	Flujograma.....	63
3.4	ENSAYOS MARSHALL	64
3.4.1	Selección de Probetas.	64
3.4.2	Se reposa en agua	64
3.4.3	Se reposa en agua Maria.....	65
3.4.4	Rotura de Probeta	65
3.4.5	Análisis de Rotura	66
3.4.6	Flujograma.....	67
3.5	ENSAYOS LOTTMAN	68
3.5.1	Proceso de ensayos	68
4.	CAPITULO IV.....	71
4.1	ANÁLISIS DE RESULTADO DE DATOS DE ROTURA	71
4.1.2	Cálculos de Datos Analizados	73
5.	CAPITULO V	79
5.1	CONCLUSIONES GENERALES.....	79
5.2	CONCLUSIONES ESPECIFICAS.....	79
5.3	RECOMENDACIONES	81
6.	TRABAJOS CITADOS.....	85
7.	ANEXOS	85
7.1	ANEXO DE ENSAYOS DE MATERIALES (CERTIFICADO).....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Exportación de bienes por sector (Miles de Millones US\$).....	11
Tabla 2. Red vial nacional por Tipo de Superficie de Rodadura y según Eje Vial (Kilometro)	12
Tabla 3: Carreteras concesionadas – kilómetros concesionados, comprometidos para construcción y comprometidos para ser intervenidos, a diciembre del 2017	12
Tabla 4 Limitaciones climáticas	13
Tabla 5 Requerimientos para los agregados gruesos.....	23
Tabla 6 Requerimientos para los agregados finos	24
Tabla 7 Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC)	26
Tabla 8 Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA)	31
Tabla 9 Requisitos Básicos de una Mezcla Asfáltica Según el método Marshall	31
Tabla 10 Requisitos Para Mezcla de Concreto Bituminoso	33
Tabla 11. Granulometría de Grava	45
Tabla 12 Granulometría de arena Global	46
Tabla 13 Granulometría de Arena Lurín	47
Tabla 14 Granulometría de sílice.....	48
Tabla 15. Granulometría grava.....	49
Tabla 16. Granulometría de arena	50
Tabla 17 Granulometría grava.....	51
Tabla 18. Granulometría de arena	52
Tabla 19. Granulometría de Cal	53
Tabla 20. Agregados colocados en el horno para cada diseño	58
Tabla 21 Mezcla con Silices- diseño 02	59
Tabla 22. Análisis de rigidez de rotura de ensayos.	66
Tabla 23. Resumen de Cuadro de porcentaje vacíos con C.A.....	71
Tabla 24. Resumen de cálculo Flujo (10^2).....	71
Tabla 25. Resumen de cálculo Estabilidad.....	72
Tabla 26. Resumen de cálculo % Vacíos de Aire.....	72
Tabla 27. Resumen de cálculo % VMA	73
Tabla 28. Resumen de cálculo Peso Unitario	73
Tabla 29 Resumen De Cuadro de % vacíos con C.A. – Óptimo.....	74
Tabla 30 Resumen de cálculo Flujo (10^2).....	74

Tabla 31 Resumen de cálculo Estabilidad.....	75
Tabla 32 Resumen de cálculo % Vacíos de Aire.....	75
Tabla 33 Resumen de cálculo % VMA	75
Tabla 34 Resumen de cálculo Peso Unitario	76
Tabla 35 Resumen de cálculo Rigidez	76
Tabla 36 Resumen de % de Vacíos- Saturados	77
Tabla 37 Resumen de % DE VACIOS- SECO	77
Tabla 38 Resumen de % DE SATURACION	77
Tabla 39 Resumen humedad- Grupo saturado	77
Tabla 40 Resumen resistencia seca- grupo seco.....	78
Tabla 41 Resistencia Retenida.....	78

ÍNDICE DE FIGURA

Figura N° 1. Mapa global de zonas sin carreteras. En rojo, las zonas más colonizadas por el asfalto, con parches de terreno más pequeños. En azul, las zonas más libres.	10
Figura 2. Control de temperatura en proyecto mantenimiento vial IIRSA centro tramo 2 – Morocha- Junin. Fuente: Propia	14
Figura 3 Tamizador de laboratorio. Fuente: Propia.....	38
Figura 4 Centrifugado de Asfalto. Fuente Propia.....	39
Figura 5. Penetrómetro. Fuente: Propia.....	39
Figura 6. Equipo Marshall. Fuente: Propia	40
Figura 7. Baño Maria. Fuente: Propia	40
Figura 8. Horno. Fuente: Propia	41
Figura 9. Balanza digital. Fuente: Propia	41
Figura 10. Martillo Compactor. Fuente: Propia	42
Figura 11. Selección de agregado. Fuente: Propia	43
Figura 12. Tamizado de Agregado Forma manual. Fuente: Propia.....	44
Figura 13 Tamizado de arena. Fuente: Propia.....	44
Figura 14 Selección de Filler. Fuente: Propia	54
Figura 15. Selección de cemento asfaltico. Fuente: Propia.....	54
Figura 16. proceso de selección de agregados. Fuente Propia	55
Figura 17 Secado de agregados. Fuente Propia.....	57
Figura 18 Secado de Filler. Fuente: Propia	57
Figura 19. Salida de MAC-horno. Fuente: Propia.....	61
Figura 20. Realización de Probetas. Fuente Propia	61
Figura 21. Congelamiento de probetas. Fuente: Propia.....	62
Figura 22 Proceso de diseño de MAC. Fuente Propia.....	63
Figura 23. Secar y pesar de probetas de MAC	64
Figura 24. Sumergido de probetas en agua.....	64
Figura 25. Colocación de Baño María. Fuente: Propia	65
Figura 26. Rotura de probetas. Fuente: Propia	65
Figura 27 Flujograma de Ensayos Marshall. Fuente: Propia	67

1. INTRODUCCIÓN

1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA

Las mezclas asfálticas en caliente (MAC) son las más empleadas los países como Estados Unidos, España y Canadá. Las carreteras pavimentadas conforman el 20 % de área total de la tierra (Figura N° 01), por la propiedad de flexibilidad, duración, uniformidad, resistencia a la fatiga, entre otras características (dinámicas y mecánicas), esto permite que se desarrollen investigaciones para mejorar sus propiedades (mecánicas y dinámicas). El Perú no es ajeno a la construcción carreteras (costa, sierra y selva) así mismo en todo el litoral y en especial las carreteras transversales de la sierra se emplean mezclas asfálticas en caliente.

Figura N° 1. Mapa global de zonas sin carreteras. En rojo, las zonas más colonizadas por el asfalto, con parches de terreno más pequeños. En azul, las zonas más libres.

Fuente: (P. Ibisch 2016)

El avance tecnológico, el aumento de desarrollo automotriz y el constate cambio de bienes y servicios. Han desarrollado a construir carretas y vías que soportan mayor cantidad de número de ejes equivalentes y emplear el mejoramiento continuo de materiales modificados y estricto control de calidad en obra. En pleno crecimiento de la nación del Perú respecto a los tratos y convenios internacionales, ha generado el aumento de la demanda del mercado

nacional e internacional, lo cual estos últimos años la exportación de producto ha sido unos factores de crecimiento latente (Sunat, 2016).

Tabla 1. Exportación de bienes por sector (Miles de Millones US\$)

Fuente: (Sunat, 2016)

Hasta el mes de noviembre del 2018, según el Sistema de Información Geográfica, la Red Vial Nacional (RVN) alcanza un total de 28,830 Km, de los cuales 26,971 Km corresponden a RVN existente; de está, la RVN pavimentada alcanza los 21,078 Km (78%) en tanto que 5,893 Km (22%) está como Red vial nacional no pavimentada. En la siguiente tabla se muestra la Red vial nacional por tipo de superficie de rodadura según eje vial y departamento. Las carreteras en la sierra del Perú se tiene unos 2464 kilómetros pavimentados. (Plan Operativo Institucional Pio, 2019)

Tabla 2. Red vial nacional por Tipo de Superficie de Rodadura y según Eje Vial (Kilometro)

EJE VIAL	PAVIMENTADA			NO PAVIMENTADA	RVN EXISTENTE	PROYECTADA	RVN TOTAL	% RVN PAVIM.
	Asfaltada	Sol. Básica	Total					
LONGITUDINAL DE LA COSTA	2,636	0	2,636	0	2,636	0	2,636	100
LONGITUDINAL DE LA SELVA	1,393	262	1,655	166	1,821	903	2,724	91
LONGITUDINAL DE LA SIERRA	2,464	869	3,333	181	3,514	0	3,514	95
TRANSVERSAL	4,924	2,417	7,341	1,612	8,954	562	9,516	82
VARIANTES Y RAMALES	3,476	2,636	6,112	3,934	10,046	393	10,440	61
TOTAL	14,894	6,184	21,078	5,893	26,971	1,859	28,830	78
SUPERFICIE RODADURA (%)	55	23	78	22	100			

Sistema de Información Geográfica. Fecha: 03/12/2018 11:01:13 / Fuente: MTC/DGCF, PVN / Elaboración: PVN/OPP

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2018)

Además, para poder construir nuevas carreteras y mantenerlo en condiciones adecuados, ha sido concesionada de acuerdo con Tabla N° 03.

Tabla 3: Carreteras concesionadas – kilómetros concesionados, comprometidos para construcción y comprometidos para ser intervenidos, a diciembre del 2017

Concesión	Total kms. Concesionados	Total kms. Comprometidos para Construcción	Total kms. Comprometidos para ser Intervenidos	Total km Comprometidos (Construcción + Intervenidos)
Autopista del Sol: Tramo Trujillo - Sullana	475,0	276,0	0,0	276,0
IIRSA Norte: Paita-Yurimaguas	955,1	200,7	806,4	1 007,1
Empalme 1B-Buenos Aires-Canchaque	78,1	55,0	22,0	76,9
Tramo Vial: Mocupe - Cayalti - Oyatún	46,8	32,6	14,2	46,8
Longitudinal de la Sierra - Tramo 2	874,1	90,1	460,6	550,7
Red Vial N° 4: Pativilca - Puerto Salaverry	356,2	356,2	0,0	356,2
Óvalo Chancay / Dv. Variante Pasamayo-Huaral-Acos	76,5	52,2	24,3	76,5
Red Vial N° 5: Ancón-Huacho-Pativilca	182,7	91,2	91,5	182,7
IIRSA Centro - Tramo 2	377,0	0,0	377,0	377,0
Red Vial N°6: Puente Pucusana-Cerro Azul-Ica	221,7	215,2	233,1	448,3
IIRSA Sur - Tramo 1: San Juan de Marcona-Urcos	757,6	3,9	750,4	754,2
IIRSA Sur - Tramo 2: Urcos-Inambari	300,0	246,4	0,0	246,4
IIRSA Sur - Tramo 3: Inambari-Iñapari	403,2	410,3	0,0	410,3
IIRSA Sur - Tramo 4: Azangaro-Inambari	305,9	277,0	25,2	302,2
IIRSA Sur - Tramo 5: Matarani-Azangaro e Ilo-Juliaca	854,7	104,3	798,4	902,7
Tramo Vial: Dv. Quilca - Dv. Arequipa (Repartición) - Dv. Matarani - Dv. Moquegua - Dv Ilo - Tacna - La Concordia	428,6	74,5	428,6	503,1
Total	6 693,2	2 485,6	4 031,4	6 517,0

Fuente: OSITRAN. Fichas de Contratos de Concesión
Elaboración: Gerencia de Regulación y Estudios Económicos-OSITRAN

Fuente: (Ositran, 2018)

Por la necesidad de poder controlar el proceso constructivo de construcción de carreteras en el Perú, se ha implementado el Manual de Carreteras, especificaciones técnicas generales

para la construcción. Por ende, para poder analizar los cambios en la evolución del manual se ha tomado las dos últimas actualizaciones realizando un comparativo entre el EG-2000 y EG-2013 en el cambio de temperatura:

Tabla 4 Limitaciones climáticas

	EG 2000	EG 2013
	410.07 Limitaciones Climáticas	423.07 Limitaciones Climáticas
CAMBIO DE TEMPERATURA - PAVIMENTOS FLEXIBLES	“las mezclas asfálticas calientes se colocarán únicamente cuando la base a tratar se encuentre seca, la temperatura atmosférica a la sombra sea superior a <u>10 C</u> en ascenso y el tiempo no esté neblinoso ni lluvioso; además la base preparada debe estar en condiciones satisfactorias” (Manual de carreteras, 2013, p.423)	“Las mezclas asfálticas calientes se colocarán cuando la base a tratar se encuentre seca, la temperatura ambiental sea superior a <u>6 C</u> , y no haya precipitaciones pluviales; además la base preparada debe estar en condiciones satisfactorias”.(Manual de carreteras, 2000, p.380)

Fuente: (Manual de Carreteras, 2013) – Adaptado por el autor

En el procedimiento de colocación de mezcla asfáltica en caliente(MAC) a niveles superiores 3000 msnm en la Red Vial Nacional, se presenta problemas en el procedimiento de colocación de mezcla asfáltica en caliente (MAC) por temas de temperatura de medio ambiente, lo cual evita colocar de acuerdo con el manual EG 2013 donde se estipula que se coloque mezcla asfáltica a partir de 6° C (NTP EG-2013) en forma ascendente. Esto pone en serio riesgo la inversión de la constructora en temas producción y rendimiento. (Figura N° 2)

Figura 2. Control de temperatura en proyecto mantenimiento vial IIRSA centro tramo 2 – Morocha- Junin. Fuente: Propia

1.2 Formulación del Problema

¿Qué propuesta de diseño teórico de mezcla asfáltica en caliente (MAC) colocada a temperatura menores a 6 grados centígrados podrá cumplir con los estándares de calidad para la ampliación del rango de temperatura de colocación en climas fríos?

1.3 Estado del Arte

El investigador Javier Reyes analizó la variación de la temperatura de las mezclas asfálticas en caliente, su importancia en la colocación de carpeta, cómo influye la producción en la planta hasta la conformación de la estructura de pavimento, especialmente en el proceso de compactación de una carretera, también observó que se generan problemas de propiedad dinámicas y mecánicas que son lo siguiente: microfisuras, segregación, desgarramientos, superficies onduladas, y especialmente cambios en las propiedades .

Para el estudio se usó una metodología de 5 pasos:

1. Caracterización de los materiales piedras, arenas y asfalto.
2. Diseño de la mezcla asfáltica por el ensayo Marshall.
3. Elaboración de muestras Marshall para diferentes niveles de compactación y temperatura.
4. Ejecución de los ensayos Marshall y módulo dinámico.
5. Análisis de resultados.

En conclusión, la temperatura de compactación de una mezcla asfáltica afecta sus propiedades dinámicas y mecánicas, llegando a obtenerse descensos hasta del 40% del módulo dinámico, lo que repercute en el tiempo de vida útil de la estructura. (Oscar, J., 2006)

El Ingeniero Valdez analizó la en s u articulo “durabilidad de los pavimentos flexibles frente al fallo de fisuración por fatiga”(Valdés. G.,2012)

Ha analizo la siguientes variable que son: temperatura ambiente, tipo de granulometría y ligante asfáltico utilizado en la fabricación de la mezcla. lo cual utilizo el siguiente estudio experimental:

- Materiales
- Ensayo de fatiga
- Plan experimental (somete la mezcla a 5 C° a 20 C °)

Por lo tanto, las mezclas Asfálticas con mayor contenido de finos en su granulometría presentaron un mejor comportamiento frente al fallo por fisuración por fatiga, independientemente del tipo de ligante y temperatura ambiental evaluada. (Valdés. G.,2012)

Por otro lado, Carlos Rodolfo evaluó “la influencia de la temperatura en la predicción del comportamiento a la fatiga de tres ligantes asfálticos considerando dos ensayos (Grado PG y LAS), así como la pertinencia de implementación en México del ensayo LAS” (Delgado H., 2012).

- Ensayos PG.- es el grado desempeño que es sometido el cemento asfáltico (aglutinate original, Horno sobre película delgada rodante Método de Prueba D-2872 y Residuo de Recipiente para Envejecimiento a Presión (AASHTO PP1).
- Ensayos LAS

En conclusión, La variación termica de temperatura es donde el ligante comienza el cambio de estado sólido viscoelástico y se podría considerar como la temperatura máxima, para analizar la resistencia a fatiga de un ligante. (Delgado H., 2012)

En la universidad de Medellín se analizó un comparativo de las mezclas sumergidas en agua donde se concluyó, que la muestra la disminución de su resistencia al desgaste

por la abrasión del asfalto en seco. Esto se obtuvo a través del desarrollo de tres fases en la primera es medir la resistencia mecánica en la segunda fase a la mezcla asfáltica se las sometieron a ensayos Marshall y al Cántabro y en la tercera se evaluaron el efecto del agua sobre las propiedades asfálticas de la carpeta. (Rondon H., 2016)

1.4 Hipótesis

La propuesta teórica de los diseños de mezcla asfáltica en caliente colocadas a temperatura menor a 6 grados centígrados cumplirá los estándares de calidad de la metodología Marshall y el manual de carreteras EG-2013.

1.5 Objetivo General

Determinar el diseño teórico mezcla asfáltica en caliente usando los diferentes tipos de filler (Cal, Cemento y sílices) aplicando metodología Marshall y el manual de carreteras EG-2013, para ser colocadas a temperaturas menores a 6°C y cumplir con los ensayos y parámetros de calidad

1.6 Objetivos Específicos

- a. Realizar un análisis de agregados (Arenas y gravas) con fines de un diseño teórico de mezcla asfáltica.
- b. Seleccionar y analizar el filler granulométricamente.
- c. Diseñar la mezcla asfáltica cumpliendo los parámetros de la metodología Marshall.
- d. Congelar las probetas de MAC y realizar ensayos para verificar el cumplimiento del control de calidad de Marshall y Lottman.
- e. Análisis comparativo de ensayos Marshall y Lotman de los diferentes tipos de diseño.

1.7 Descripción de Contenido

- **Capítulo 1.-** Es donde se desarrollará el marco teórico de relacionado a las investigaciones de los *papers* y libros, así mismo se describirá la metodología que se utilizará en el desarrollo de la tesis.

- **Capítulo 2.-** Se explicará el desarrollo del proceso aplicando la metodología Marshall y sus respectivos instrumentos y ensayos.
- **Capítulo 3.-** se desarrollará el cumplimiento de los objetivos específicos que son los siguientes:
 - a) Realizar un análisis de agregados con fines de Prediseño de mezcla asfáltica.
 - b) Diseñar la mezcla asfáltica cumpliendo los parámetros de la metodología Marshall.
 - c) Realizar ensayos para verificar el cumplimiento del control de calidad de la metodología Marshall con cambio de fillers con respecto al manual EG-2013.
 - d) Realiza los ensayos de Lottman de Prediseño de mezclas asfáltica con cambio de fillers con respecto al manual EG-2013.
- **Capítulo 4.-** En este capítulo se desarrollará el análisis de los resultados obtenidos y comparaciones con los 3 tipos de diseño de mezcla que se desarrollaron en los ensayos de laboratorio (Marshall y Lottman)
- **Capítulo 5.-** En este capítulo se desarrollará las conclusiones y recomendaciones del análisis de capítulo 4.

2. CAPITULO 1

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Mezclas Asfálticas En Caliente

Las mezclas asfálticas en caliente están compuestas de material pétreo, filler y asfalto caliente (aprox. 163°C), están constituidas por el 93 - 97% de material pétreo y un 6 - 7% de asfalto.

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores del pavimento.

Existen, a su vez, sub tipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. La evolución de este tipo de mezcla fue variando y desarrollándose con el tiempo desde el método de diseño de Hubbard-Field (1920), siguiendo con el Método Marshall (1930)

2.1.2 Metodología Marshall

El Objetivo del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

Lo importante en la metodología Marshall es la propiedad que se logra tener con respecto a la densidad/vacíos del material asfáltico. Esto nos permite garantizar las importantes proporciones, en volumen, de los elementos para que se necesitan y que estas estén dentro del rango para asegurar que la mezcla cumpla con lo permitido y esta sea durable de acuerdo con las especificaciones técnicas que se desean.

Esta metodología también tiene sus desventajas ya que no se simula la dosificación que se requiere a escala real como el tránsito que esta puede soportar en una carretera real.

2.1.2.1 Procedimiento de uso Metodología Marshall

El método Marshall, sólo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración

y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

A continuación, se presenta una descripción general de los procedimientos seguidos en el diseño Marshall.

2.1.2.2 Preparación para desarrollar los Procedimiento Marshall AASHTOT245.

Los agregados y asfaltos tienen diferentes características y propiedades. Estas características y propiedad tienen un impacto directo sobre pavimento.

El primer paso en el método de diseño de mezcla asfáltica, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etc.) que debe tener la mezcla de pavimentación, Se inicia con seleccionar un tipo de agregado y cemento asfáltico que puedan combinarse para producir esas cualidades.

Una vez efectuado lo anterior, se procede con la preparación de los ensayos.

2.1.2.3 Comportamiento de las Mezclas

Las mezclas asfálticas, están compuestas por la combinación de ciertos elementos que la hacen que cuenten con las propiedades (mecánicas y dinámicas) a distintos tipos de deterioros (naturales o no). Esta combinación está compuesta, por lo general, por 90% de agregados minerales pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otros 5% de asfalto, aproximadamente.

Por lo que, el comportamiento de estas es el resultado de las propiedades individuales del agregado mineral y del asfalto, así como por la interrelación de ambos componentes dentro del sistema.

El comportamiento de las mezclas asfálticas, se da gracias a la conjunción de todos los materiales y propiedades que cada tipo de mezcla contiene durante el diseño y en el funcionamiento bajo situaciones extremas.

Los materiales que componen las mezclas asfálticas poseen propiedades dinámicas, dando lugar al módulo dinámico que caracteriza de forma mecánica a unas mezclas de otras. El comportamiento dinámico, se puede hallar a través del ensayo ASTM D

3497-Modulo Dinámico, donde se somete el espécimen a pulsos repetitivos en condiciones de compresión no confinada

2.1.2.4 Propiedades de las mezclas asfálticas

Las principales propiedades de las mezclas asfálticas se producen a causa de la selección cuidadosa que se tiene con los materiales que constituyen estas mezclas, dependiendo también del tipo de mezclas asfálticas que se diseñen. Estas propiedades suelen variar, ya que la proporción de los materiales con la cual se diseña no siempre son iguales, haciendo que su campo de aplicación también varíe. No siempre una mezcla va a acaparar todas las propiedades ya que, depende mucho de la funcionalidad y estructura del pavimento, pero para mayor conocimiento de se toman las propiedades generales de los mismos (Paredes, 2009, p.20):

a) Estabilidad.

La estabilidad, es una de las propiedades fundamentales de las mezclas asfálticas, ya que se refiere a la capacidad de soportar cargas y resistir tensiones produciendo deformaciones y desplazamientos tolerables. Para ello existen especificaciones y tolerancias que se deben tener en cuenta en el diseño, por ello cuando se dan valores demasiados altos se producen pavimentos excesivamente rígidos y por ende menos durables. Esta propiedad depende, básicamente, de la fricción interna y de la cohesión. La fricción interna (fricción entre las partículas) depende mucho de la textura superficial, de la granulometría, de la forma y tamaño de la partícula (Paredes, 2006, p.21).

b) Durabilidad

El tiempo de vida de un pavimento depende de muchos factores, pero primordialmente de la durabilidad. Es importante resaltar que un pavimento (principalmente la carpeta asfáltica), queda expuesto a diferentes agresiones

externas que perjudican su duración siendo éstas la abrasión producida por el tráfico, la radiación solar, la oxidación del ligante producida por el aire, el agua o el hielo, también los aceites y combustibles, produciendo así el desprendimiento (Paredes, 2009, p22).

c) Flexibilidad

La flexibilidad es una propiedad muy deseable en todos los pavimentos, ya que la densidad de la subrasante es poco uniforme debido a que algunas partes del pavimento tienden a comprimirse y expandirse por el suelo y tienden a asentarse por causa del tráfico. Lo que se busca en la mayoría de las mezclas es la capacidad de poder resistir a diversos tipos de asentamientos sin que lleguen a quebrarse (Paredes, 2009, p.23).

d) Resistencia a la fatiga

Para que una mezcla sea buena tenemos que considerar la resistencia que esta ejerce con respecto a la fatiga. Cuando la fuerza que produce la fatiga en la mezcla va en aumento, dando inicio a las deformaciones elásticas que se muestran en la superficie de la carpeta asfáltica, llegando a originar agrietamientos comúnmente llamados piel de cocodrilo. Incluso, cuando las cargas que se repiten son inferiores a la carga de rotura, se genera un agotamiento progresivo por fatiga del material a largo plazo.

Por ello se consideran muchos factores para poder contrarrestar el agrietamiento prematuro de la mezcla tales como: la relación del contenido de asfalto y su rigidez, la relación estructural del espesor de la carpeta, la capacidad portante de la subrasante y la carga de rotura y el control de la temperatura en su diseño. El contenido de vacíos no está libre de un riguroso

control ya que un contenido alto de éste produciría agrietamientos (Paredes, 2009, p. 23-24).

e) Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad

La impermeabilidad no nace de la capa superior del pavimento sino desde sus capas interiores. Esta propiedad tiene como función evitar el paso del agua o aire a las mezclas asfálticas, siendo sus principales colaboradores: el contenido de vacíos, ya que éste es un gran indicador de cuan susceptible puede llegar a ser la mezcla asfáltica y el contenido de asfalto. Cuando esta impermeabilidad se va perdiendo, debido a la gran cantidad de contenido de vacíos, aparecen carencias estructurales en el pavimento producidas por la oxidación y adherencia del asfalto, y el drenaje del pavimento (Paredes, 2009, p.24).

f) Resistencia al deslizamiento

Se refiere a la capacidad que tiene el pavimento de disminuir el riesgo al deslizamiento aumentando la adherencia entre los neumáticos y la carpeta asfáltica, sobre todo cuando está húmeda (hidroplaneo). Se debe tener en cuenta que una superficie rugosa y áspera tendrá mayor posibilidad de adherencia con el neumático; para esto, los agregados deben de ser resistentes al desgaste bajo tránsito, siendo los agregados calcáreos los menos resistentes. Otro punto muy importante de resaltar es la exudación del asfalto ya que proporciona poca resistencia al deslizamiento (Paredes, 2009, p.25).

g) Trabajabilidad

Las mezclas asfálticas deben de ser trabajables; esto se refiere a la docilidad en el proceso de mezclado, colocación y compactación in situ. Esto depende

de las características del agregado, granulometría, relleno mineral, contenido y viscosidad del asfalto (Paredes, 2009, p.25).

2.1.2.5 Proceso de selección de las Muestras de Material

“La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras del cemento asfáltico y del agregado que van a ser usados en la mezcla de pavimentación” (Cáceres, 2007).

Es importante que las muestras de cemento asfáltico tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es simple: los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determinan la fórmula para la mezcla de pavimentación.(Cáceres, 2007).

La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final.(Cáceres, 2007).

Una amplia variedad de problemas graves, que van desde una mala trabajabilidad del cemento asfáltico hasta una falla prematura del pavimento, son el resultado histórico de variaciones ocurridas entre los materiales ensayados en el laboratorio y los materiales usados en la realidad” (Cáceres, 2007).

Selección de material. - Se cumplirá las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG – 2013), especificado en 423.02 selección de material y cumpliendo con los ensayos mencionados.

Tabla 5 Requerimientos para los agregados gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

* Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado grueso para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la Subsección 430.02.
- La notación "85/50" indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas.

Fuente: Manual carreteras EG-2013, Tabla 423-02

Tabla 6 Requerimientos para los agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N.° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción* *	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

**Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla, Subsección 430.02.

Fuente: Manual de carreteras EG-2013, Tabla 423-02

2.1.2.6 Preparación del Agregado

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida para poder establecer las temperaturas del mezclado y compactación en el laboratorio.

En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico, y efectuar un análisis granulométrico por lavado (Cáceres, 2007).

2.1.2.7 Proceso de Secado del Agregado

El Método Marshall requiere que los agregados ensayados estén libres de humedad, tan práctico como sea posible. Esto evita que la humedad afecte los resultados de los ensayos. Una muestra de cada agregado a ser ensayado se coloca en una bandeja, por separado, y se calienta en un horno a temperatura de 110 ° C (230 ° F). Después de cierto tiempo, la muestra caliente se pesa, y se registra su valor.

La muestra se calienta por segunda vez, y se vuelve a pesar y a registrar su valor. Este procedimiento se repite hasta que el peso de la muestra permanezca constante después de dos calentamientos consecutivos, lo cual indica que la mayor cantidad posible de humedad se ha evaporado de la muestra (Cáceres, 2007).

2.1.2.8 Proceso de Análisis Granulométrico por Vía Húmeda

El análisis granulométrico por vía húmeda es un procedimiento usado para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Esta información es importante porque las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado de tamaño diferente, para producir una mezcla en caliente final con las características deseadas (Cáceres, 2007).

El análisis granulométrico por vía húmeda consta de los siguientes pasos:

- 1) Los agregados seleccionados pasan por el proceso de secado y pesado.

- 2) Los agregado seleccionado pasan por el proceso de lavado a través de un tamiz de 0.075mm (No. 200), para remover cualquier polvo mineral que este cubriendo el agregado.
- 3) Los agregados lavados son secadas siguiendo el procedimiento de calentado en horno o cocina y pesado descrito anteriormente.
- 4) Se procede con el peso en seco de cada agregado seleccionado y es registrado, la cantidad de polvo mineral puede ser determinada si se comparan los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.
- 5) Continúa con el procedimiento de gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC), nos guiaremos de Manual EG-2013 especificación 423-03. Alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la ASTM D 3515 e Instituto del Asfalto.

Tabla 7 Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC)

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC -1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N.° 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.° 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.° 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.° 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.° 200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: Manual carreteras EG-2013, Tabla 423-03

2.1.2.9 Determinación del Peso Específico

El peso específico de una sustancia es la proporción peso-volumen de una unidad de esta sustancia comparada con la proporción peso-volumen de una unidad igual de agua. El peso específico de una muestra de agregado es determinado al comparar el peso de un volumen dado de agregado con el peso de un volumen igual de agua, a la misma temperatura. El peso específico del agregado se expresa en múltiplos peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de 1)

Por ejemplo, una muestra de agregado que pese dos y media veces más que un volumen igual de agua tiene un peso específico de 2.5.

El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones agregadas, asfalto, y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño (Cáceres, 2007).

2.1.2.10 Preparación de las Muestras de Ensayo

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenido de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas esta formulada por los resultados del análisis granulométrico (Cáceres, 2007).

Las mezclas se preparan de la siguiente manera:

- 1) El cemento asfáltico y el agregado seleccionado, se calientan en horno seco y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de cumplimiento del mixer de una planta de asfalto.
- 2) Las mezclas asfálticas calientes (Mac) , se colocan en moldes que cumplan con el dimensionamiento Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el equipo de compactación Marshall, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de mezcla al golpearla.
- 3) Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50, o 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada briketa reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 35 golpes recibe, realmente, un total de 70 golpes. Una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

2.1.2.11 Procedimiento del Ensayo MARSHALL

Existen tres procedimientos en el método del ensayo Marshall. Estos son: Determinación del peso específico total, medición de la estabilidad y la fluencia Marshall, análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas (Cáceres, 2007).

a) **Determinación del Peso Específico Total (AASHTO T 166)**

El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos (Cáceres, 2007).

b) **Ensayos de Estabilidad y Fluencia Marshall**

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla.

El procedimiento de los ensayos es el siguiente: (Cáceres, 2007).

- 1) “Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60 ° C (140 ° F). Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar” (Cáceres, 2007)..
- 2) “La probeta es removida del baño, secada, y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste en un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta, y de unos medidores de carga y deformación (fluencia)· (Cáceres, 2007)..
- 3) “La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm (2 in) por minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta pueda resistir” (Cáceres, 2007).

La carga falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia (Cáceres, 2007).

c) Valor de Estabilidad Marshall

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador de cuadrante. Luego se suspende la carga una vez que se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el Valor de Estabilidad Marshall. (Cáceres, 2007).

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que, si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor. (Cáceres, 2007).

Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material es frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, este no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad (Cáceres, 2007).

d) Valor de Fluencia Marshall

La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. (Cáceres, 2007).

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas, y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito

(Cáceres, 2007).

e) Análisis de Densidad y Vacíos

Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de probetas de prueba. El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada (Cáceres, 2007).

f) Análisis de Vacíos

Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos). Este último puede ser calculado a partir de los pesos específicos del asfalto y el agregado de la mezcla, con un margen apropiado para tener en cuenta la cantidad de asfalto absorbido por el agregado; o directamente mediante un ensayo normalizado (AASHTO T 209) efectuado sobre la muestra de mezcla sin compactar. El peso específico total de las probetas compactadas se determina pesando las probetas en aire y agua (Cáceres, 2007).

I. Análisis de Peso Unitarios

El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por 100 kg/m³ (62.4 lb/ft³) (Cáceres, 2007).

II. Análisis de vacíos en los Agregados de los Minerales

Los vacíos en el agregado mineral, VMA, están definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentran entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo del asfalto, y se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla. El VMA es calculado con base en el peso específico total del agregado y se

expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla compactada. Por lo tanto, el VMA puede ser calculado al restar el volumen de agregado (determinado mediante el peso específico total del agregado) del volumen total de la mezcla compactada (Cáceres, 2007).

Tabla 8 Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA)

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm (N.º 8)	21	-
4,75 mm (N.º 4)	18	-
9,50 mm (3/8")	16	15
12,5 mm (½")	15	14
19,0 mm (3/4")	14	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 ½")	12	11
50,0 mm (2")	11,5	10,5

Nota: Los valores de esta tabla serán seleccionados de acuerdo al tamaño máximo de las mezclas que se dan en la Subsección 423.02(c). Las tolerancias serán definidas puntualmente en función de las propiedades de los agregados.

Fuente: (Manual carreteras EG-2013, Tabla 423.08)

III. Análisis vacíos llenos de asfalto (VFA)

Los vacíos llenos de asfalto, VFA, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando el valor final como un porcentaje (Cáceres, 2007).

Relaciones y Observaciones de los Resultados de los Ensayos

Cuando los resultados de los ensayos se trazan en gráficas, usualmente revelan ciertas tendencias en las relaciones entre el contenido de asfalto y las propiedades de la mezcla. A continuación, se enuncian ciertas tendencias que pueden observarse al estudiar las gráficas (Cáceres, 2007).

1. El % de vacíos disminuye cuando aumenta el contenido de asfalto.
2. El % de vacíos en el agregado mineral (VMA) disminuye hasta un valor mínimo y aumenta cuando en el contenido de asfalto se incrementa.

3. El % de vacíos llenos de asfalto (VFA) aumenta con aumentos en el contenido de asfalto
4. La curva para el peso unitario (densidad) de la mezcla es similar a la curva de estabilidad, excepto que el peso unitario máximo se presenta a un contenido de asfalto ligeramente mayor que el que determina la máxima estabilidad.
5. Los valores de estabilidad aumentan cuando el contenido de asfalto aumenta. Más allá de este punto, la estabilidad disminuye cuando aumento en el contenido de asfalto.
6. Los valores de fluencia aumentan con aumentos en el contenido de asfalto.

Tabla 9 Requisitos Básicos de una Mezcla Asfáltica Según el método Marshall

▪ Numero de golpes de compactación en cada lado del espécimen	75
▪ Estabilidad (kg.)	680
▪ Fluencia, en 0.01"	8 mín. – 18 máx.
▪ Vacíos en la mezcla, en %	3 mín. – 5 máx.
▪ Vacíos llenos de asfalto, en %	75 mín. – 85 máx.

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente del Asphalt Institute. Seriede Manuales N° 22 (MS-22).

IV. Determinación del Contenido de Asfalto

El contenido de diseño de asfalto en la mezcla final de pavimentación se determina a partir de los resultados descritos anteriormente. Primero, determine el contenido de asfalto para el cual el contenido de vacíos es de 4%. Luego, evalúe todas las propiedades calculadas y medidas para este contenido de asfalto, y compárelas con los criterios de diseño. Si se cumplen todos los criterios, es el contenido de diseño de asfalto. Si no se cumplen todos los criterios será necesario hacer algunos ajustes o volver a diseñar la mezcla (Cáceres, 2007).

Tabla 10 Requisitos Para Mezcla de Concreto Bituminoso

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	<u>Ver Tabla 423-10</u>		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

(1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.

(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.

(3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est. /flujo sea de la menor magnitud posible.

(4) El Índice de Compactibilidad mínimo será 5.

El Índice de Compactibilidad se define como:
$$\frac{1}{\text{GEB } 50 - \text{GEB } 5}$$

Siendo GEB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

Fuente: “Manual de Carreteras EG-2013, Pag-478”

Teorías y fundamentos teóricos sobre los que se soporta el proyecto y la solución planteada.

Se analizan los principales enfoques, teorías o paradigmas relacionados con el problema en las disciplinas relacionadas y se pone de manifiesto el punto de vista teórico y practica que asume el investigador, para la realización de su tesis.

2.1.3 Filler o Polvo Mineral

El filler o relleno es un material es utiliza en mezcla asfáltica, tiene una finalidad de relleno de vacíos, complementa granulometría del asfalto o como mejorador de adherencia , podrá ser de preferencia propiedad de oxidante, que deberá cumplir la

AASHTO M-303, manual de carreteras EG-2013 y lo indicado en la cantidad a utilizar se definirá en la fase de diseños de mezcla según el Método Marshall.

- **CEMENTO ANDINO:** Es un Cemento Pórtland Tipo I, obtenido de la molienda Clinker Tipo I y yeso.
- **SILES:** Las arenas consisten principalmente de cuarzo que es un mineral compuesto de óxido de silicio, duro con alto punto de fusión. Las arenas son la fuente principal de la sílice que es utilizada en la elaboración de los refractarios, en la industria del jabón y química, en la elaboración del vidrio, en la construcción, en las fundiciones y en la fabricación del cemento. Para algunos usos, como en las industrias de cemento, las arenas pueden contener aluminio, fierro y álcalis. La industria de la construcción es el mayor usuario de las arenas impuras y exige sólo su clasificación previa. La granulometría y hasta la forma de los granos, influye sobre los procesos industriales y su costo. Las arenas finas se funden con mayor facilidad que las redondeadas y gruesas, por lo que son preferidas en la industria del vidrio, mientras que las redondeadas son más apropiadas para moldes (Zapata, 2012, p.21).
- **CAL HIDRATADA:** El hidróxido de calcio o cal hidratada (otros sinónimos: hidrato de cal, cal apagada, cal muerta, etc) con fórmula $\text{Ca}(\text{OH})_2$, se obtiene por hidratación del óxido de calcio (cal viva) en unos equipos denominados hidratadores.

2.2 Metodología de ensayo Lottman para muestras MAC

La adherencia entre asfalto y el agregado se debe controlar desde un principio en cuanto al desarrollo del prediseño de mezcla asfáltica, ya que este reflejará la vida útil del pavimento por sus las características que estos presentan, la mezcla en el prediseño debe mostrar una óptima estabilidad y durabilidad.

Este ensayo Lottman, el cual permite determinar la resistencia a la tracción de los especímenes, midiendo la pérdida de cohesión de una mezcla compactada como resultado de los efectos de saturación acelerada en agua. Este ensayo mide el comportamiento de la mezcla en conjunto (árido fino, árido grueso y ligante).

El ensayo “Lottman”, permite predecir la susceptibilidad de desprendimiento de las mezclas asfálticas y evaluar el efecto de los mejoradores de adherencia que se agregan al cemento asfáltico, si es líquido y al agregado mineral si es polvo.

El ensayo “Lottman” se orienta a dos objetivos: Primero identifica si una combinación de ligante asfáltico y agregado es susceptible a la acción del agua y luego evalúa la adhesividad y efectividad de los aditivos anti-desprendimiento o mejoradores de adherencia.

El ensayo AASHTO T-283 es uno de los más confiables para establecer la adhesividad en las mezclas asfálticas, ya que ensaya el material tal como se va a usar en obra.

De continuar ensayando tradicionalmente la adhesividad se deben dar márgenes de seguridad que garanticen una buena adhesividad para que no colapsen las carpetas antes del tiempo esperado, lo que viene sucediendo en muchas carreteras nuevas en nuestro país.

- Proceso de Preparación de los agregados: Los agregados que se obtuvieron son secados en el horno por 24 horas a una temperatura entre 105° C a 110 °C, después de enfriamiento son tamizados.
- Procedimiento de Preparación para la mezcla: Se calientan los agregados en el horno a una temperatura aproximada de 160°C y el asfalto hasta 145°C en promedio, ya que, para la compactación. Para la mezcla obtenida pesamos el agregado mezclando con el filler a la temperatura indicada anteriormente, procedemos a mezclarlo con el

porcentaje de asfalto óptimo obtenido en los ensayos del Marshall hasta llegar a un peso total de 1200 gramos se realizó por lo menos 8 muestras.

- Procedimiento de compactación de las probetas: Se colocan la mezclas en moldes, para luego se compactado con el martillo (75 golpes). Además de controlar la temperatura de mezcla.
- La mezcla debe ser compactada correctamente para logra un porcentaje de vacíos de entre 6 y 8% según lo estipulado en el manual y normas establecidas.
- Retiramos del molde de Marshall para luego dejar enfriar la probeta este último es para prevenir que la probeta se vea afectada al momento de extraerla.

- Muestreo de Datos:

Una vez obtenidas, enfriadas y extraídas las probetas de su molde procedemos a tomar los siguientes datos.

- Medir Altura de todas las probetas y obtener el promedio.
- Medir el Diámetro de todas las probetas y obtener promedio de la probeta.
- Pesar cada probeta en el aire.
- Procede a saturar de agua probetas por 10 minutos a 25° centígrados y luego pesarla.
- Pesar cada una de las probetas sumergidas en agua.

Las muestras de cada tipo de filler las llevamos a un baño María a una temperatura de 25° centígrados por una hora, para luego se realicen los ensayos de rotura de cada una de ellas.

Las probetas se saturarán con ayuda del picnómetro hasta lograr una saturación de la muestra entre 55%-80%, si la muestra tiene menos de 55% se satura nuevamente hasta alcanzar , si las muestras tienen una saturación superior al 80% son descartadas y para luego realizar nuevamente las briquetas.

Una vez saturadas las briquetas son colocadas en una bolsa plástica con 10ml de agua y se colocan en la congeladora a una temperatura de -20°C por 24 horas, transcurridas las 24 horas, retiramos las muestras de la congeladora y las sumergimos en agua a temperatura ambiente por media hora, para luego sumergirlas en baño María a 60°C por 24 horas. Transcurridas las 24 horas tomamos medida del peso superficialmente seco y peso sumergido en el agua, para luego proceder a romperlas en la máquina de compresión usando el cabezal Lottman.

Cálculos: $S1 = (2T1)/(\pi * e * D)$ $S2 = (2T2)/(\pi * e * D)$

Donde:

$S1$ = Esfuerzo de tensión en Kg/cm² en seco.

$S2$ = Esfuerzo de tensión en Kg/cm² en húmedo

e = Espesor del espécimen en cm.

D = Diámetro del espécimen en cm.

“Expresar el índice numérico o resistencia de la mezcla asfáltica al efecto negativo-destructivo del agua como la razón del esfuerzo original es al retenido después del acondicionamiento en agua frío-caliente. Calcular de la siguiente manera:”(Zapata, 2012, p.21).

Ratio del esfuerzo tensor (TSR) = $S2/S1$

Donde:

$S1$ = El promedio del esfuerzo de tensión del subgrupo seco.

$S2$ = El promedio del esfuerzo de tensión del subgrupo acondicionado.

3. CAPITULO II

3.1 Metodología

- Nivel de Investigación (exploratoria, descriptiva, explicativa).
Explicativo y Explorativo
- Diseño de Investigación (documental, de campo, experimental).

La investigación es cualitativa y cuantitativa

3.2 Procedimiento:

3.2.1 Descripción De Los Instrumentos

- a) **TAMIZADOR DE TAMICES:** Este equipo determina el tamaño de agregado y son retención por tamaños de partículas de los agregados pétreos.

Figura 3 Tamizador de laboratorio. Fuente: Propia

Son los tamices en marca ele lo cual va a ser útil en el diseño de MAC

- b) **EXTRATOR CENTRIFUGA DE ASFALTO ASTM D – 2172 AASHTO T - 164:** Este equipo se utiliza para determinar el porcentaje bituminoso en mezclas mediante la extracción de bitumen utilizando solventes.

Figura 4 Centrifugado de Asfalto. Fuente Propia

Se utiliza para poder determinar el lavado asfaltico.

- c) **PENETROMETRO DE ASFALTO ASTM D – 5 AASHTO T – 49:**
Este equipo se utiliza para medir la consistencia de muestras bituminosas.

Figura 5. Penetrómetro. Fuente: Propia

Utiliza para analizar la consistencia de cemento asfaltico.

- d) **EQUIPO DE ESTABILIDAD MARSHALL ASTM D- 1559 AASHTO T – 245:** Este equipo nos permite, medir la resistencia al flujo plástico de las mezclas asfálticas de acuerdo con los estándares de las normas referidas.

Figura 6. Equipo Marshall. Fuente: Propia

Equipo sirve para rotura de probetas

- e) **EQUIPO DE AGUA CALIENTE (BAÑO DE MARIA) ASTM D – 1559 AASHTO T – 245:** Este ensayo incorpora un sistema de calentador para las muestras sometidas y es un complemento para realizar Marshall.

Figura 7. Baño Maria. Fuente: Propia

Sirve para poder someter la MACen agua caliente para su ablandamiento.

- f) **HORNO DE SECADO MARCA ELE:** Este ensayo es para secar las muestras a través de calentamientos a temperaturas predeterminadas.

Figura 8. Horno. Fuente: Propia

Se utilizó para poder realizar la MAC.

- g) **BALANZA DIGITAL OHAUS:** Esta balanza es una parte integral para los métodos de laboratorio.

Figura 9. Balanza digital. Fuente: Propia

Se utiliza para pesa de muestra.

- h) **MARTILLO COMPACTADOR MARSHALL ELECTRICO (MARCA ELE):** Este ensayo es para determinar la compactación de las briquetas en laboratorio.

Figura 10. Martillo Compactor. Fuente: Propia

Sirve para formación de probetas

- i) **Rice:** Equipo que se utilizara para analizar gravedad específica máxima teórica (MAC no compactadas), calcular el % de huecos de aire (MAC compactadas) y la cantidad de betún absorbido en los agregados.
- j) **Vacuómetro:** Equipo que se utilizara para analizar presiones inferiores a la presión atmosférica del MAC, el equipo es de la marca ELE.
- k) **Manómetro:** Equipo que se utilizara para analizar presión en los fluidos, además determina la diferencia de la presión entre el fluido y la presión

3.2.2 Validación de Información de cálculos:

Instrumentos ha utilizar para los ensayos realizados han sido validados por marca ELE, lo cual cuenta con las siguientes constancias de calidad:

- Mantenimiento.
- Calibración.
- Certificación de fabricación.

3.2.3 Procesamiento para análisis de información de cálculos.

- Diseño en Laboratorio
- Selección de información (Orden y codificación)
- Análisis de información - Gráficos
- Análisis e Interpretación de información de datos

3.2.4 Procedimiento de desarrollo

3.2.4.1 Selección de agregados.

a) Selección de los agregados en cantera.

Se inició con ir a cantera para la el recojo de agregados las cuales son agregado gruesos y finos.

Figura 11. Selección de agregado. Fuente: Propia

Se visualiza la selección y extracción de agregado de cantera chancadora.

b) Granulometría de fino y grueso.

Se inició con el tamizado del material extraído de cantera y separado de material y pesado

Así mismo se ha separado en bolsa cada separación de material verificando la correcta granulometría de material.

Figura 12. Tamizado de Agregado Forma manual. Fuente: Propia.

Se verifica el tamizado muestra Gruesa

Figura 13 Tamizado de arena. Fuente: Propia

Se visualiza los tamizados de la arena y piedra.

- GRANULOMETRÍA DE DISEÑO DE SILES

Tabla 11. Granulometría de Grava

Fuente: Propia

Terminado el secado del material pasa por el tamizado para identificar la granulometría de la grava, lo cual se tiene retenido Malla de 1/2 en un 22.4 %, Malla de 3/8 en un 33.1%, Malla Nº 4 en un 43.3% y Malla de Nº10 en un 1.2%

Tabla 12 Granulometría de arena Global

Fuente: Propia

Terminado el secado del material pasa por el tamizado para identificar la granulometría de la Arena, lo cual se tiene retenido, Malla N°4 en un 4,6 %, Malla N°10 en un 38,9%, Malla N°40 en un 28,4%, Malla N°80 en un 7,8%, Malla N°200 en un 6,3% y Malla menores N°200 en un 14%

Tabla 13 Granulometría de Arena Lurín

Fuente: Propia

Terminado el secado del material pasa por el tamizado para identificar la granulometría de la Arena, lo cual se tiene retenido, Malla Nº4 en un 1,2 %, Malla Nº10 en un 31,9%, Malla Nº40 en un 35,4%, Malla Nº80 en un 9,7%, Malla Nº200 en un 8,8% y Malla menores Nº200 en un 13%

Tabla 14 Granulometría de sílice

Fuente: Propia

Terminado el secado del material pasa por el tamizado para identificar la granulometría de la sílice, lo cual se tiene retenido, Malla Nº40 en un 15,1%, Malla Nº80 en un 61,5%, Malla Nº 200 en un 22% y Malla menores Nº 200 en un 1,4%

- GRANULOMETRÍA DE DISEÑO DE CEMENTO

Tabla 15. Granulometría grava

Fuente: Propia

Terminado el secado del material pasa por el tamizado para identificar la granulometría de la grava, lo cual se tiene retenido Malla de 1/2 en un 22.4 %, Malla de 3/8 en un 33.1%, Malla N° 4 en un 43.3% y Malla de N°10 en un 1.2%

Tabla 16. Granulometría de arena

Fuente: Propia

Terminado el secado del material pasa por el tamizado para identificar la granulometría de la Arena, lo cual se tiene retenido, Malla Nº4 en un 1,2 %, Malla Nº10 en un 31,9%, Malla Nº40 en un 35,4%, Malla Nº80 en un 9,7%, Malla Nº200 en un 8,8% y Malla menores Nº200 en un 13%

- GRANULOMETRÍA DE DISEÑO DE CAL

Tabla 17 Granulometría grava

Fuente: Propia

Terminado el secado del material pasa por el tamizado para identificar la granulometría de la Grava, lo cual se tiene retenido, Malla Nº4 en un 1,2 %, Malla Nº10 en un 31,9%, Malla Nº40 en un 35,4%, Malla Nº80 en un 9,7%, Malla Nº200 en un 8,8% y Malla menores Nº200 en un 13%

Tabla 18. Granulometría de arena

Fuente: Propia

Terminado el secado del material pasa por el tamizado para identificar la granulometría de la Arena, lo cual se tiene retenido, Malla Nº4 en un 1,2 %, Malla Nº10 en un 31,9%, Malla Nº40 en un 35,4%, Malla Nº80 en un 9,7%, Malla Nº200 en un 8,8% y Malla menores Nº200 en un 13%

Tabla 19. Granulometría de Cal

Fuente: Propia

Terminado el secado del material pasa por el tamizado para identificar la granulometría de la Cal, lo cual se tiene retenido, Malla Nº200 en un 17,0% y Malla menores Nº200 en un 80%

3.2.4.2 Selección de Filler

Se seleccionó 03 tipos de filler, para diseñar los 03 tipos de mezcla asfáltica en caliente, lo cual fueron usado para experimentar lo siguiente: cal, cemento y sílice.

Figura 14 Selección de Filler. Fuente: Propia

3.2.4.3 Selección de Cemento Asfáltico

Se seleccionó el cemento asfáltico 85/100 de acuerdo con la referencia del manual de carreteras EG-2013 y por la accesibilidad de conseguir en el mercado. Así mismo, se ha inspeccionado visualmente el cemento asfáltico.

Figura 15. Selección de cemento asfáltico. Fuente: Propia

Se ha seleccionado el siguiente cemento asfáltico de 85/100 por motivos que el diseño se encuentra en zona mayor a los 3000 msnm.

3.2.5 Flujograma

Figura 16. proceso de selección de agregados. Fuente Propia

3.3 Diseño de mezcla y probeta

Los tres diseño utilizará diferente tamaños de agregado con sus respectivos analisis de porcentajes establecidos que son:

- Agregado Grueso $\frac{3}{4}$ " (22.2 %),
- Agregado Medio $\frac{3}{8}$ " (37.7 %)
- Arena (40,1%);

Para realizar la briqueta de diseño se necesita 1200.00 g, se tienen tres fracciones de agregado, lo cual implica que se deben pesar tres cantidades, una de cada fracción para complementar una dosificación de agregado para una bachada (elaboración de una briqueta); para seleccionar las fracciones no tenemos todavía un porcentaje establecido, por ende procede a calcularlo la granulometría de cada petreo.

Luego que se obtuvo al combinar los tres agregados que inicialmente se tienen, para dichos cálculos.

El primer suma los valores de retencion en la malla de $\frac{3}{4}$ " hasta la de $\frac{3}{8}$ " los cuales son:

$$\frac{3}{4}" = 0, \quad \frac{1}{2}" = 8,9 \quad \text{y} \quad \frac{3}{8}" = 13.3 \quad \rightarrow \quad \text{Suma} = 0 + 8.9 + 13.3 = 22.2\%.$$

La segunda forma es restando los porcentajes acumulados que pasan entre las mallas en las que se encuentra dicha fracción, por ejemplo: Pasa malla $\frac{3}{4}$ " – pasa malla $\frac{3}{8}$ " = $100 - 77.8 = 22.2\%$ y así sucesivamente.

Se presentan los valores de los porcentajes de las tres fracciones de agregado que se utilizarán para obtener la dosificación adecuada..

3.3.1 Secado de agregado finos y Grueso.

Se inició con el secado de los materiales que son grueso y finos:

Figura 17 Secado de agregados. Fuente Propia

Se ha realizado el secado de muestra de cada diseño, se secó el mineral sílices por contener humedad mientras que el cemento Portland no ya que viene sin humedad.

Figura 18 Secado de Filler. Fuente: Propia

Se ha realizado solo secado de sílice ya que es el único filler que contenía humedad.

3.3.2 Colocación de material en bandeja

Se Colocan todos los agregados en bandeja para poner en el horno:

Tabla 20. Agregados colocados en el horno para cada diseño

Diseño Cemento	Diseño Silice	Diseño cal
<ul style="list-style-type: none"> Agregado Grueso Arena Fino Cemento asfaltico Cemento Portland 	<ul style="list-style-type: none"> Agregado Grueso Arena Fino Cemento asfaltico Silices 	<ul style="list-style-type: none"> Agregado Grueso Arena Fino Cemento asfaltico Cal

Tabla 19 Mezcla con Cemento- diseño 01

Fuente: Propia

Tabla 21 Mezcla con Silices- diseño 02

Fuente: Propia

Tabla 21 Mezcla con Cal- diseño 03

Fuente: Propia

Para los ensayos Marshall Los porcentajes de cemento asfáltico se iniciara desde 5.0% y se incrementara 0.5% para analizar los cambios:

5.0 %, 5.5 %, 6. %, 5.5 % y 6.5 %

Para cada porcentaje de cemento asfáltico y filler se elaborarán como mínimo tres briquetas , cada briqueta debe tener un peso de 1,200.0 g

Para los ensayos Lottman Los porcentajes de cemento asfáltico se desarrollara apartir del obtencion de cementos asphaltico de optimo, realizado en los ensayos marsall con cada dosificacion de filler que son:

5.8%, 5.9%. 6.0%

3.3.3 Salida de mezcla asfáltica de horno.

Se controla la temperatura de la salida de mezcla asfáltica de horno para comprobación.

Figura 19. Salida de MAC-horno. Fuente: Propia

Se puso al horno los agregados combinados a una temperatura de 140°C así mismo también se batido de forma uniforme y se tomó la temperatura de salida.

3.3.4 Colocación de MAC en probetas.

Se procedió a colocar MAC recién salido del horno en las probetas Marshall, las cuales se proceden a golpear 25 veces por tres series alrededor de molde en las tres capas.

Figura 20. Realización de Probetas. Fuente Propia

Al colocar la MAC se genera la compactación adecuada y requerida de acuerdo con el manual de carreteras EG-2013.

3.3.5 Congelamiento de Mezcla

Para los ensayos Marshall y Lottman se ha procedido a congelar la MAC para simular los climas frío de zonas ubicadas a mayor de 3000 msnm, donde el clima adverso es de -0 a -10°C y también hay una radiación intensa de sol. Por ende, se ha sometido al congelamiento de -20°C de forma descendiente por un tiempo de 20 horas.

El tiempo se a toma por motivo que se desea ver el comportamiento de MAC en temperaturas frías y extremas simulando que la diamantina normalmente se realiza un día para otro.

Figura 21. Congelamiento de probetas. Fuente: Propia

Se realizo el congelamiento de la muestra por 20 horas a temperaturas desde cero grados hasta el punto de -20 grados centígrados

3.3.6 Flujograma

Figura 22 Proceso de diseño de MAC. Fuente Propia

3.4 ENSAYOS MARSHALL

3.4.1 Selección de Probetas.

Se procedió con el secado de la muestra y es pesado en aire. Lo cual es utilizado para análisis y cálculos.

Figura 23. Secar y pesar de probetas de MAC

3.4.2 Se reposa en agua

Se procede a colocar la MAC en agua durante 15 a 20 min, lo cual después se extrae y seca superficialmente para ser pesado.

Figura 24. Sumergido de probetas en agua

Se coloca las probetas en agua por lapso de 30 min.

3.4.3 Se reposa en agua Maria

Se procede a colocar la MAC en agua Caliente por 60°C (Baño maría) durante 15 a 20 min, lo cual después se extrae y seca superficialmente.

Figura 25. Colocación de Baño María. Fuente: Propia

Se coloca las probetas en baño maría por 30 minutos.

3.4.4 Rotura de Probeta

Se procede a poner en la prensa Marshall para su respectiva rotura además se apunta los datos para los análisis de rotura vs Esfuerzo.

Figura 26. Rotura de probetas. Fuente: Propia

3.4.5 Análisis de Rotura

Tabla 22. Análisis de rigidez de rotura de ensayos.

ÍNDICE DE RIGIDEZ PROMEDIO				
%C.A.	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
TIPO DE FILLER				
CEMENTO	4938,73	4475,00	3779,62	3081,72
SILICE	4555,90	4081,04	3731,14	3387,05
CAL	4683,11	4238,41	3886,45	3460,87

Fuente: Propia

Respecto realizado las roturas de las probetas se ha podido verificar los siguientes:

- El cemento presenta mayor rigidez con menos contenido % C.A (Cemento Asfáltico) de 5.0.
- La sílice es unos de los materiales que desciende uniformemente su rigidez mientras mayor sea el % de C.A.
- La cal es que presentar mayor rigidez con % CA de 6.5.

3.4.5.1 Cálculos de Datos

Para cumplir con los objetivos planteados se aplica las siguientes formulas:

$$Volumen (cm^3) = P.Prob. Saturada aire - P.Prob. Saturada agua$$

$$Densidad (gr/cm^3) = \frac{P. Aire Probeta. Seca}{Volumen Probeta}$$

$$Volumen de Aridos (cm^3) = \frac{100 - \%Betun sobre mezcla}{P. Especifico conjunto aridos}$$

$$Volumen de Betun (cm^3) = \frac{\%Betun sobre mezcla}{Peso especifico betun}$$

$$Densidad Teorica Maxima (gr/cm^3) = 100 - (V. Aridos + V. Betun)$$

$$Huecos en los Aridos \% = 100 - (D. Mezcla * V. Arido)$$

$$Huecos en la Mezcla \% = 100 - \frac{100 * Densidad Mezclas}{Densidad Teorica Maxima}$$

CALCULO ESTABILIDAD Y DEFORMACION

$$Constante del anillo = 2.4$$

3.4.6 Flujograma

Figura 27 Flujograma de Ensayos Marshall. Fuente: Propia

3.5 ENSAYOS LOTTMAN

3.5.1 Proceso de ensayos

Pesado de Probetas: Se procedió con el secado de la muestra y es pesado en aire y en agua. Lo cual es utilizado para análisis y cálculos.

Figura 1. Pesado de probetas. Fuente: Propia

Figura 2. Pesado de probetas en agua. Fuente propia

- a. **Colocación a Baño María:** Las probetas se colocan en baño maria por 30 minutos a una temperatura de 60 grados celsius.

Figura 3. Colocación de probetas a Baño María. Fuente Propia

- b. **Cogela en agua con hielo:** La probetas pasan a ser congelado durante 3 a 4 horas en cero grados celsius. Para realizar actividades la probetas son sumergidas en agua con cubo de hielos.
- c. **Rotura de probeta:** La rotura del metodo lottaman es transversal.

Figura 4. Rotura de probetas. Fuente: Propia.

3.5.1.1 Flujograma

Figura 5 Flujograma de ensayos Lottman. Fuente: Propia

4. CAPITULO IV

4.1 Análisis de resultado de datos de rotura

4.1.1.1 Porcentaje De vacíos Con C.A.

Tabla 23. Resumen de Cuadro de porcentaje vacíos con C.A.

PORCENTAJE DE VACIOS CON C.A.	%C.A.			
	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
TIPO DE FILLER				
SILICE	61.2	70.0	78.8	85.0
CEMENTO	64.9	73.2	82.6	91.1
CAL	67.2	79.8	86.7	84.7

Fuente: Propia

En la Tabla 22 se analiza que para obtener un porcentaje de vacíos con llenado de C.A que cumpla la normativa Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente del Asphalt Institute. Serie de Manuales N° 22 (MS-22). Deberá estar entre los parámetros de 75% a 85% vacíos con C.A. Por ende, lo que cumple son los siguiente:

- Sílices con % C.A desde 5.8% hasta 6.5%
- Cemento con % C.A desde 5.6% hasta 6.2%
- Cal con % C.A. Desde 5.4% hasta 5.9 %

Son los porcentajes llegan a cumplir.

4.1.1.2 Flujo (Pulgada 10²)

Tabla 24. Resumen de cálculo Flujo (10²).

FLUJO (PULG 10-2)	%C.A.			
	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
TIPO DE FILLER				
SILICE	10.6	13.0	14.5	15.5
CEMENTO	9.1	10.6	12.5	14.5
CAL	10.1	12.2	14.0	15.1

Fuente: Propia

En la Tabla 23 se analiza que el cálculo de flujo debe estar dentro del rango de 8 a 14 y así cumpla con el Manual de Carreteras y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG 2013- (Tabla 423-06). Por ende, se tendrá que analizar a partir de estas restricciones.

- Sílices a partir de % C.A desde 5.0% hasta 5.85%
- Cemento a partir de % C.A desde 5.0 % hasta 6.3%

- Cal a partir de % C.A desde 5.0 % hasta 6.0 %

4.1.1.3 Estabilidad

Tabla 25. Resumen de cálculo Estabilidad

ESTABILIDAD (KILOS)	%C.A.			
TIPO DE FILLER	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
SILICE	1228.0	1351.0	1371.0	1337.0
CEMENTO	1141.0	1201.0	1200.0	1132.0
CAL	1201.0	1301.0	1385.0	1327.0

Fuente: Propia

En la Tabla 24 se analiza que estabilidad debe ser como mínimo de 815 kg y así cumpla con el Manual de Carreteras y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG 2013- (Tabla 423-06). Por ende, llega a cumplir todos los ensayos según el tipo de filler.

4.1.1.4 Porcentaje De Vacíos De Aire

Tabla 26. Resumen de cálculo % Vacíos de Aire

% VACIOS AIRE	%C.A.			
TIPO DE FILLER	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
SILICE	6.5	5.0	3.5	2.5
CEMENTO	6.1	4.7	3.2	1.5
CAL	5.1	3.0	2.0	2.5

Fuente: Propia

En la Tabla 25 se analiza qué porcentaje de vacío de aire debe estar dentro del rango de 3 a 5 y así cumpla con el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG 2013- Tabla 423-06”. Por ende, se tendrá que analizar a partir de las restricciones.

- Sílices a partir de % C.A desde 5.5% hasta 5.9%
- Cemento a partir de % C.A desde 5.3 % hasta 5.9%
- Cal a partir de % C.A desde 5.0 % hasta 5.5 %

4.1.1.5 Porcentaje De VMA.

Tabla 27. Resumen de cálculo % VMA

% DE V.M.A	%C.A.			
TIPO DE FILLER	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
SILICE	16.9	16.6	16.4	16.6
CEMENTO	17.4	17.3	17.2	17.0
CAL	15.7	14.9	15.3	15.7

Fuente: Propia

En la Tabla 26 se analiza qué % de VMA debe ser como máximo 21 y así cumpla el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG 2013- Tabla 423-06”. Por ende, llega a cumplir todos los ensayos según el tipo de filler.

4.1.1.6 Peso Unitario (gr/cc)

Tabla 28. Resumen de cálculo Peso Unitario

PESO UNITARIO (gr/cc)	%C.A.			
TIPO DE FILLER	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
SILICE	2.350	2.370	2.389	2.395
CEMENTO	2.361	2.374	2.392	2.410
CAL	2.383	2.417	2.419	2.393

Fuente: Propia

En la Tabla 27se analiza que el Peso unitario va aumentado a relación del aumento según el % C.A. lo cual para poder tener mayor análisis se tendrá que ver el % VMA y el % vacíos con C.A.

4.1.2 Cálculos de Datos Analizados

4.1.2.1 Análisis Comparativo Óptimo del Diseño Mac (Cal, Cemento Y Siles) Sobre Los Ensayos Marshall

4.1.2.1.1 De de vacíos con llenado C.A. (VFA) – Calculo Óptimo

Tabla 29 Resumen De Cuadro de % vacíos con C.A. – Óptimo

DISEÑO MAC-2	%C.A.(ÓPTIMO (± 0.20))	% DE VACIO CON C.A
TIPO DE FILLER		
SILICE	5.800	78.2
CEMENTO	5.900	81.6
CAL	6.000	87.6

Fuente: Propia

En la Tabla 28 se analiza que para obtener un porcentaje de vacíos con llenado de C.A (cemento asfáltico) y ser sometido a una temperatura de -15°C el óptimo relacionado con el parámetro VMA. Así mismo el mayo % de vacíos con C.A es la cal 87.8% con un % C.A de 6.00.

Asimismo, se debe tener en cuenta que, un exceso de VFA provoca problemas de estabilidad; mientras que una carencia, determina problemas de durabilidad, fatiga, flexibilidad y trabajabilidad

4.1.2.1.2 Flujo (PULGA 10²) - Cálculo Óptimo

Tabla 30 Resumen de cálculo Flujo (10²).

DISEÑO MAC-2	FLUJO (pulg.)	%C.A.(ÓPTIMO (± 0.20))
TIPO DE FILLER		
SILICE	14,000	5,800
CEMENTO	11,500	5,900
CAL	14,000	6,000

Fuente: Propia

En la Tabla 29 se analiza los ensayos realizados con diferentes porcentajes de % C.A y ser sometido a una temperatura de -15°C, lo cual el óptimo para el flujo son los siguientes. Así mismo, los flujos máximos de acuerdo con normativa son las sílices y la cal con 14.

4.1.2.1.3 Estabilidad- Calculo Óptimo

Tabla 31 Resumen de cálculo Estabilidad

DISEÑO MAC-2	ESTABILIDAD	%C.A.(ÓPTIMO (± 0.20))
TIPO DE FILLER		
SILICE	1371,000	5,800
CEMENTO	1125,000	5,900
CAL	1385,000	6,000

Fuente: Propia

En la Tabla 30 se analizó los ensayos realizados con diferentes porcentajes de % C.A y ser sometido a una temperatura de -15°C, lo cual el óptimo de estabilidad con los siguientes materiales es la cal con 1385 kg. Con un % C.A de 6.00.

4.1.2.1.4 Porcentaje de vacíos de aire- Calculo Óptimo

Tabla 32 Resumen de cálculo % Vacíos de Aire

DISEÑO MAC-2	% DE VACIO DE AIRE	%C.A.(ÓPTIMO (± 0.20))
TIPO DE FILLER		
SILICE	4,000	5,800
CEMENTO	3,800	5,900
CAL	2,200	6,000

Fuente: Propia

En la Tabla 31 se analiza los ensayos realizados con diferentes porcentajes de % C.A y ser sometido a un temperatura de -15°C, lo cual el óptimo % vacío de aire es lo verifica, observando el filler (cal) que tiene % vacíos 2.2 con %C.A de 6.00 afecta a la norma.

4.1.2.1.5 Porcentaje de VMA- Calculo Óptimo.

Tabla 33 Resumen de cálculo % VMA

DISEÑO MAC-2	V.M.A.(ÓPTIMO)	%C.A.(ÓPTIMO (± 0.20))
TIPO DE FILLER		
SILICE	16,400	5,800
CEMENTO	17,200	5,900
CAL	15,800	6,000

Fuente: Propia

En la Tabla 32 se analiza los ensayos realizados con diferentes porcentajes de % C.A y luego de ser sometido a una temperatura de -15°C. Es importante resaltar que para

todos los casos de temperatura los valores de vacíos de agregado mineral están por encima de los Criterios del Instituto del asfalto (1982) para el diseño Marshall (min 13%). Quien muestra mayor número de VMA es el cemento con 17.2 con un óptimo de %C.A. de 5.9.

4.1.2.1.6 Peso Unitario (Gr/CC.) – Calculo Óptimo

Tabla 34 Resumen de cálculo Peso Unitario

DISEÑO MAC-2	%C.A.(ÓPTIMO (± 0.20))	PESO UNITARIO, Kg /m ³
TIPO DE FILLER		
SILICE	5.800	2.383
CEMENTO	5.900	2.338
CAL	6.000	2.419

Fuente: Propia

En la Tabla 33 se analiza los ensayos realizados con diferentes porcentajes de % C.A y ser sometido a una temperatura de -15°C. los ensayos muestran que mantienen un peso unitario entre 2,3 a 2.7 según los parámetros del manual de carreteras E.G 2013.

4.1.2.1.7 Rigidez - Cálculo Óptimo

Tabla 35 Resumen de cálculo Rigidez

DISEÑO MAC-2	INDICE RIGIDEZ	%C.A.(ÓPTIMO (± 0.20))
TIPO DE FILLER		
SILICE	3792,000	5,800
CEMENTO	3840,000	5,900
CAL	3949,000	6,000

Fuente: Propia

En la Tabla 34 se analiza los ensayos realizados con diferentes porcentajes de % C.A y ser sometido a una temperatura de -15°C. Se verifica que la cal mantiene mayor rigidez en el óptimo con un %C.A de 6.00.

4.1.2.2 Análisis Comparativo De Diseño De Mac (Cal, Cemento Y Silice) Sobre Los Ensayos Lottman

4.1.2.2.1 Porcentaje de Vacíos Saturado

Tabla 36 Resumen de % de Vacíos- Saturados

LOTTMAN	% ÓPTMO DE C.A.	% DE VACIOS - SATURADO			
TIPO DE FILLER		ENSAYO O1	ENSAYO O2	ENSAYO O3	PROMEDIO
CEMENTO	5.90	7.226	7.186	7.496	7.303
SILICE	5.80	6.738	6.730	6.743	6.737
CAL	6.00	6.960	7.496	6.877	7.111

Fuente: Propia

4.1.2.2.2 Porcentaje Vacios-Seco

Tabla 37 Resumen de % DE VACIOS- SECO

LOTTMAN	% ÓPTMO DE C.A.	% DE VACIOS - SECO			
TIPO DE FILLER		ENSAYO O1	ENSAYO O2	ENSAYO O3	PROMEDIO
CEMENTO	5.90	7.213	7.253	7.202	7.222
SILICE	5.80	6.998	6.980	6.697	6.892
CAL	6.00	7.247	6.322	7.319	6.963

Fuente: Propia

4.1.2.2.3 Porcentaje De Saturación

Tabla 38 Resumen de % DE SATURACION

LOTTMAN	% ÓPTMO DE C.A.	% DE SATURACIÓN			
TIPO DE FILLER		ENSAYO O1	ENSAYO O2	ENSAYO O3	PROMEDIO
CEMENTO	5.90	66.637	62.734	61.766	63.712
SILICE	5.80	69.451	77.691	69.698	72.280
CAL	6.00	68.143	56.228	68.968	64.446

Fuente: Propia

4.1.2.2.4 Resistencia Humedad- Saturado

Tabla 39 Resumen humedad- Grupo saturado

LOTTMAN	% ÓPTMO DE C.A.	RESISTENCIA HUMEDA kg/cm2 - GRUPO SATURADO			
TIPO DE FILLER		ENSAYO O1	ENSAYO O2	ENSAYO O3	PROMEDIO
CEMENTO	5.90	3.755	3.457	3.639	3.617
SILICE	5.80	4.186	4.136	4.743	4.355
CAL	6.00	3.556	3.270	3.462	3.429

Fuente: Propia

4.1.2.2.5 Resistencia Seca- Grupo seco

Tabla 40 Resumen resistencia seca- grupo seco

LOTTMAN	% ÓPTMO DE C.A.	RESISTENCIA SECA kg/cm2 - GRUPO SECO			
TIPO DE FILLER		ENSAYO O1	ENSAYO O2	ENSAYO O3	PROMEDIO
CEMENTO	5.90	4.496	4.229	4.390	4.371
SILICE	5.80	7.105	7.520	7.870	7.498
CAL	6.00	4.327	4.060	4.202	4.196

Fuente: Propia

4.1.2.2.6 Adherencia

Tabla 41 Resistencia Retenida

LOTTMAN	% ÓPTMO DE C.A.	RESISTENCIA RETENIDA 'TSR 100 Stm/Std
TIPO DE FILLER		
CEMENTO	5.90	82.746
SILICE	5.80	58.078
CAL	6.00	81.723

Fuente: Propia

En la Tabla 40 se analiza los ensayos realizados de acuerdo a los parámetros de resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO 283 donde el requerimiento mínimo es 80.

Por ende, solo dos ensayos llegan a cumplir la cal y cemento.

5. CAPITULO V

5.1 Conclusiones Generales

- De acuerdo con los resultados y el análisis comparativo realizado con los diferentes tipos de fillers, se obtiene que la mezcla asfáltica en caliente con cemento que fue sometida a temperaturas bajo 0°C, cumple con todos los parámetros establecidos por el manual de carreteras EG-2013, AASHTO T 283 y el instituto del asfalto, por lo que se puede colocar una mezcla asfáltica en caliente bajo estas condiciones
- La mezcla asfáltica, con incorporación de cemento portland tipo I como filler, cumple todos los parámetros establecidos por el manual de carreteras EG-2013, con el óptimo contenido de cemento asfáltico de 5.90% se logró el mejor comportamiento mecánico de la mezcla, además que las briquetas han sufrido un congelamiento de -20°C se obtuvo los resultados siguientes: Estabilidad (1125 kg), Flujo (11.5 – 0.01”), Densidad (2.338 gr/cm³), Resistencia Retenida (82.7%), y Resistencia a la Compresión (3.0 MPa).
- Los resultados de los otros tipos de filler (cal y sílice), que no cumplen ciertas condiciones pueden ser de estudio para otros tipos de investigaciones ya que, con el uso de algún aditivo (SBS), puede que cumplan con los parámetros que solicita para la colocación de mezcla asfáltica en caliente sometidos a temperaturas bajo 0°C

5.2 Conclusiones Especificas

- Los resultados obtenidos de Tablas 29 y 40 demuestran que es posible colocar MAC a temperaturas bajo 0°C cumpliendo los estándares de los diseños convencionales por lo que puede mejorara las operaciones, a pesar que en el manual de carreteras EG-2013 hay restricciones donde nos dice que la temperatura mínima de colocación es a 6°C en ascenso.
- De los resultados en Tabla 31 se obtuvo que el diseño de mezcla asfáltica en caliente con incorporación de cal no cumple con los parámetros mencionados en el manual EG-2013 en las propiedades de porcentaje de vacíos con aire. Por ende, el resultado obtenido de 2.20% de vacíos de aire va generar mayor rango exudación y a su vez esto puede desfavorecer a la respuesta estructural frente a hielo y deshielo por el aumento de su densidad.

- En el Tabla 36 se ha verificado que los ensayos de Lottman realizado a la mezcla asfáltica con incorporación de sílices no cumple con los parámetros de restricción de ASHTO 283, por lo cual dicha mezcla va generar problemas de adherencia y desgaste prematuro.
- La diferencia en cuanto al comportamiento mecánico en función de los parámetros Marshall, de la mezcla asfáltica con la incorporación cemento y cal mediante el proceso por vía seca, además sometidas a temperaturas de -20 C°, se tiene lo siguiente:
 - La Estabilidad de la mezcla asfáltica con incorporación de CAL es significativamente superior que la estabilidad de la mezcla asfáltica con incorporación de CEMENTO en 260 kg
 - El Flujo de la mezcla asfáltica con incorporación de CAL es ligeramente mayor que el flujo de la mezcla asfáltica con incorporación de CEMENTO en 2.5%, pero su incremento no es significativo.
 - Porcentaje de Vacío de aire de la mezcla asfáltica con incorporación de CEMENTO es significativamente superior que el Porcentaje de Vacíos de aire de la mezcla asfáltica con incorporación de CAL en 1.6%. Así mismo, el porcentaje de vacío de aire de mezcla asfáltica con incorporación de CAL es como resultado 2.2% con 6.0% C.A esto no cumple con lo estipulado en el manual de carreteras EG 2013
- La Variación al comportamiento mecánico con los parámetros Marshall, de la MAC-2 con la incorporación cemento y sílices mediante el proceso por vía seca, por vía seca, además sometidas a temperaturas de -20 C°, se tiene lo siguiente:
 - En el ensayo de Estabilidad del MAC -2 con incorporación de SILICES es significativamente superior que la estabilidad de la mezcla asfáltica con incorporación de CEMENTO en 246 kg
 - En el ensayo de Flujo del MAC-2 con incorporación de SILICES es ligeramente mayor que el flujo de la mezcla asfáltica con incorporación de CEMENTO en 3.0 %, pero su incremento no es significativo.
 - Análisis Adherencia por el ensayo Lottman del MAC-2 con incorporación de CEMENTO es significativamente superior adherencia de la mezcla asfáltica con incorporación de sílices en 26.67.

- La rigidez generada por el ensayo Marshall de la mezcla asfáltica con incorporación de CEMENTO es significativamente superior a la rigidez de la mezcla asfáltica con incorporación de SILICES en 48.
- La Variación al comportamiento mecánico con los parámetros Marshall, de la MAC-2 con la incorporación de cal y sílices mediante el proceso por vía seca, además sometidas a temperaturas de -20°C, se tiene lo siguiente:
 - El ensayo de Estabilidad del MAC-2 con incorporación de CAL es relativamente superior que la estabilidad de la mezcla asfáltica con incorporación de SILICES en 14 kg. Pero con diferentes % C.A.
 - Porcentaje de Vacío de aire del MAC-2 con incorporación de SILICES es significativamente superior que porcentaje de Vacío de aire de la mezcla asfáltica con incorporación de CAL en 1.8%.
 - El análisis Adherencia por el ensayo Lottman de la mezcla asfáltica con incorporación de CAL es significativamente superior adherencia de la mezcla asfáltica con incorporación de SILICES en 23.65.
 - La rigidez generada por el ensayo Marshall de la mezcla asfáltica con incorporación de cal es significativamente superior a la rigidez de la mezcla asfáltica con incorporación de sílices en 157.

5.3 Recomendaciones

- Al incorporar filler (cal, cemento y sílices) para mejorar el comportamiento mecánico del MAC-2 en climas menores a los cero grados, es conveniente conseguir agregados (arena chancada y arena lavada) que tenga propiedades de granulometría relacionada.
- Para verificar los beneficios de las propiedades del MAC-2 con incorporación de filler (cal, cemento y sílices) en climas menores a los cero grados encontradas en esta investigación, se recomienda realizar tramos de prueba, que permitan medir el desempeño de las mezclas in situ.
- Se recomienda realizar el estudio económico de la ejecución de pavimentos con MAC-2 con incorporación de filler (cal, cemento y sílices) comparada a la mezcla asfáltica convencional, en cuanto a lo que se refiere a la durabilidad de la vía (costo/beneficio).

- Recomendada verificar los beneficios de las propiedades de la MAC-2 con incorporación de filler (cemento) se recomienda analizar con los diferentes tipos de Portland (I, II, III, IV y V) realizando los ensayos Marshall y Lottamn.
- Si se desea hacer uso de la cal, se requiere una estandarización de la composición química ya que resultado obtenido en laboratorios, la cal se puede encontrar con diferentes composición y característica química esto no permitiría hacer un análisis homogéneo con cal, ya que por su diversidad de extracción esta debería ser ensayada por cada ingreso de material a trabajar en obra.

BIBLIOGRAFÍA

ABC. (2016). Las carreteras ya cruzan el 20% de la Tierra. ABC ciencia. https://www.abc.es/ciencia/abci-20-ciento-tierra-esta-totalmente-cubierto-carreteras-201612152031_noticia.html

Baldi-Sevilla, Montero, A. (2017). Aproximación fisicoquímica de la susceptibilidad al daño por humedad de interfaces asfalto-agregado. *Revista Infraestructura Vial*. 19 (34), 5-9.

Cáceres, C. (2007). *Análisis de la Metodología Superpave para el Diseño de Mezclas Asfálticas en México* [Tesis Profesional, Universidad de las Américas Puebla]. Repositorio Institucional, México, Puebla. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/caceres_m_ca/

Centro de Predicción Numérica del Tiempo y Clima Instituto Geofísico del Perú. (2015). Clima en la Sierra y Selva. 23-06-2019, de Ministerio de Agricultura y Riego Sitio web: <http://minagri.gob.pe/portal/datero/53-sector-agrario/el-clima?layout=>

Delbono, L., Fensel, E., Curone, L. (2015). Valoración de la Fisuración Refleja Ante Cargas Dinámicas Interponiendo Geosintético a Diferentes Niveles de la Capa de Refuerzo Asfáltico. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*.

Delgado H., Del Toro, A., & Anguas, G. (2017). Efecto de la Temperatura en la Evaluación de la Fatiga en Ligantes Asfálticos. Scielo. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/27755>

Diario El Peruano. (2018). 91.3% de la Red Vial Nacional estará pavimentada en el 2021. 09-04-2019, de Diario el Peruano Sitio web: <https://elperuano.pe/noticia-913-de-red-vial-nacional-estara-pavimentada-el-2021-66214.aspx>

Garnica Anguas, P., Gómez López, J., Alonso Romero, S., & Alarcón Orta, H. (2014). Aspectos del Diseño Volumétrico de Mezclas Asfálticas. Instituto Mexicano del Transporte. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt246.pdf>

Marín C., Guzmán M. (2007). Comparación de Módulos Dinámicos de Probetas Elaboradas por el Método Marshall y por el Método Superpave. Ingenierías Universidad de Medellín.

Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2018). Reporte Mensual de Comercio. Mincetur. <https://www.mincetur.gob.pe/wp->

content/uploads/documentos/comercio_exterior/estadisticas_y_publicaciones/estadisticas/exportaciones/2018/RMC_Diciembre_2018.pdf

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Para la Construcción. MTC. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2011). Red Vial Nacional. 23-04-2019, de Ministerio de Transportes y Comunicaciones Sitio web: https://portal.mtc.gob.pe/logros_red_vial.html

Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte De Uso Público. (2018). Análisis de la infraestructura vial concesionada en el Perú. OSITRAN. <https://www.ositran.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/Documento-de-Trabajo-N5-Analisis-de-carreteras.pdf>

Paredes, E. (2009). Comportamiento mecánico de las mezclas tipo SMA (Stone Mastic Asphalt). (Tesis). Universidad Ricardo Palma, Lima.

Provias Nacional. (2017). Plan operativo institucional 2018. <https://www.pvn.gob.pe/wp-content/uploads/2018/02/POI-2018-20180111.pdf>

Reyes Ortiz, O., Camacho Tauta, J., & Reyes Lizcano, F. (2006). influencia de la temperatura y nivel de energía de compactación en las propiedades dinámicas de una mezcla asfáltica. Researchgate. https://www.researchgate.net/publication/262436224_Influencia_de_la_temperatura_y_nivel_de_energia_de_compactacion_en_las_propiedades_dinamicas_de_una_mezcla_asfaltica

Rondón H., Reyes F. (2012). Evaluación de los parámetros mecánicos de una mezcla asfáltica sometida a las condiciones ambientales de la ciudad de Bogotá D.C. Revista Ingeniería de Construcción.

Rondón H., Ruge J., & Moreno L. (2016). Efecto del agua sobre el asfalto y su posible influencia en el daño por humedad en una mezcla asfáltica porosa. scielo. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052016000400003

Senhami. (2019). Precipitaciones en la sierra. 27-06-2019, de Senhami Sitio web: <https://senamhi.gob.pe/?p=aviso-meteorologicovigente&a=2019&b=088&c=022&d=SENA>

Valdés, G., Pérez-Jiménez, F., & Martínez, A. (2012). Influencia de la temperatura y tipo de mezcla asfáltica en el comportamiento a fatiga de los pavimentos flexibles. Revista de la Construcción.

Valdes, G., Perez-Jimenez, F., & Martinez, A. (2012, junio). Revista de la Construcción. Pontificie Universidad Catolica de Chile.
http://www7.uc.cl/ccivil_revista/revista/Rev19/V11n1.pdf

Zapata, M. (2012). Estudio de Prefactibilidad para la instalación de una planta de producción de arena sílice para uso industrial. *Tesis*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Obtenido de <https://docplayer.es/36445524-Universidad-nacional-de-ingenieria.html>

6. TRABAJOS CITADOS

7. ANEXOS

7.1 Anexo de Ensayos de materiales (Certificado)

ANEXO 1-Durabilidad Al Sulfato De Sodio Y Magnesio
--

GEOCONTROL PERÚ S.A.C.

PROYECTOS - ASESORÍA - CONSULTORÍA - SERVICIO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELO Y PAVIMENTOS - ENSAYOS GEOTÉCNICOS - SUMINISTRO DE EQUIPOS E INSUMOS

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO

MTS E 209 - ASTM C 48 - AASHTO T-104

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA: MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y PEATONAL DEL EJE VIAL AV. DE LOS HERÓES - AV. PACHAQUITEC Y CREACIÓN DE PASOS A DESNIVEL EN LAS INTERSECCIONES CON LA AC. SAN JUAN, AV. MIGUEL IGLESIAS Y AV. 26 DE NOVIEMBRE, DISTRITO DE SAN JUAN DE MIRAFLORES, VILLA MARIA DEL TRIUNFO Y VILLA EL SALVADOR, LIMA - LIMA.

SOLICITANTE: CONSORCIO VIAL VES
MATERIAL: GRAVA CHIRACADA
PROCEDENCIA: CALAMARQUILLA
UBICACIÓN: PROVINCIA DE LIMA

REGISTRO: 0144 GG
HECHO POR: A.V.H.
REVISADO POR: J.R.A.
FECHA DE ENSAYO: MAYO DEL 2019

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA

AGREGADO GRUESO

TAMIZ		PESO REQUERIDO (gr)	PESO REAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA		GRADUACION ORIGINAL DE LA MUESTRA	PERDIDA CORREGIDA
PASANTE	RET.				PESO	%		
2 1/2"	2"	3000 ± 100						
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"	1000 ± 50						
1"	3/4"	500 ± 20						
3/4"	1/2"	670 ± 10	1000.2	992.1	8.90	0.81	35.1	0.254
1/2"	3/8"	330 ± 5						
3/8"	Nº 4	500 ± 5	302.5	295.4	10.10	3.36	64.9	2.182
TOTAL								2.47%

AGREGADO FINO

TAMIZ		PESO REQUERIDO (gr)	PESO REAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA		GRADACION ORIGINAL DE LA MUESTRA	PERDIDA CORREGIDA
PASANTE	RET.				PESO	%		
3/8"	Nº 04	100						
Nº 04	Nº 08	100	100.0					
Nº 08	Nº 16	100	100.0					
Nº 16	Nº 30	100	100.0					
Nº 30	Nº 60	100	100.0					
Nº 60	Nº 100							
TOTAL								

OBSERVACIONES

JOSE ADOLFO RODRIGUEZ ANGULO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP Nº 98611

Tel. (01) 3561900 / Rpc: 952821929 / 947306807 / Entel: 946581415
geocontrolperu@hotmail.com
www.geocontrolperu.com

Fuente : propia

ANEXO 2- Ensayos De Abrasion De Piedra

GEOCONTROL PERÚ S.A.C.

PROYECTOS - ASESORÍA - CONSULTORÍA - SERVICIO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELO Y PAVIMENTOS - ENSAYOS GEOTÉCNICOS - SUMINISTRO DE EQUIPOS E INSUMOS

ENSAYO DE ABRASION (MAQUINA DE LOS ANGELES)

(ENFRIAMIENTO ASIMÉTRICO)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA	MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y PEATONAL DEL EJE VIAL AV. DE LOS HERÓES - AV. PACHACUTEC Y CREACION DE PASOS A DORMIR EN LAS INTERSECCIONES CON LA AC. SAN JUAN, AV. MIGUEL IGLESIAS Y AV. 26 DE NOVIEMBRE, DISTRITO DE SAN JUAN DE MIRAFLORES, VILLA MARIA DEL TRIUNFO Y VILLA EL SALVADOR, LIMA - LIMA		
SOLIDITANTE	CONSORCIO VIA/ VEB	REGISTRO	0145.GC
MATERIAL	GRAVA CHANCADA	HECHO POR	A.V.H.
PROCEDENCIA	CAJAMARQUILLA	REVISADO POR	J.R.A.
UBICACIÓN	PROVINCIA DE LIMA	FECHA DE ENSAYO	MAYO DEL 2019

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA

TAMIZ		GRADACIÓN			
Pasante	Retenido	A	B	C	D
1 1/2"	1"				
1"	3/4"				
3/4"	1/2"		2500.7		
1/2"	3/8"		2500.1		
3/8"	1/4"				
1/4"	N° 4				
N° 4	N° 8				
(1) Peso Total (gr)			5000.8		
(2) Peso retenido en el tamiz N° 12 (gr)			814.1		
(3) Peso que pasa en el tamiz N° 12 (gr) (1-2)			4186.7		
N° de esferas			11		
Numero de revoluciones			500		
Tiempo de rotación (minutos)			15		
Peso de las esferas (gr)			4554 +/- 25		
Porcentaje de abrasion			16.3%		

OBSERVACIONES

JOSE ABOLFO RODRIGUEZ ANGULO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 55611

Tel. (01) 3561900 / Rpc: 952821929 / 947306807 / Entel: 946581415
geocontrolperu@hotmail.com
www.geocontrolperu.com

Fuente : propia

ANEXO 3- Analisis De Ensayos De Piedra

GEOCONTROL PERÚ S.A.C.

PROYECTOS - ASesoría - CONSULTORÍA - SERVICIO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE
SUELO Y PAVIMENTOS - ENSAYOS BIOTÉCNICOS - SUMINISTRO DE EQUIPOS E INSUMOS

ENSAYO DE ADHESIÓN MORTAJA (ASTM C-109) - NORMA ASTM C-109

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

CERCA	MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL - PEATONAL DEL EJ. VIAL DE LOS HEREDeros - EL TACNA (CUT) - DIRECCIÓN DE TRÁFICO - TERMINAL EN LAS INTERSECCIONES DONDE LA CAL. SAN JUAN - LA MOQUE. GUERAS - EL 20 DE NOVIEMBRE DETRÁS DEL SAN JUAN DE MARILÓRES, VILLA MARIA DEL TRIUNFO Y VILLA EL SALVADOR, IMA - IMA		
CLIENTE	CONSEJO VIAL IMA	REGISTRO	7146-22
MATERIAL	GRAN CHACRA	HECHO POR	E.L.S.
PROCESO	QUIMIPOLY	REVISADO POR	E.L.S.
UBICACIÓN	PROVINCIA DE IMA	FECHA DE ENSAYO	14/10/2018

Se adjunta la presencia

Temperatura ambiente: 15°C

Humedad relativa: 65%

Muestra	1	2	3	Promedio
RETENCIÓN (%)	100%	100%	100%	
PERCENTAJE EXPANSIÓN (%)	0%	0%	0%	
PERCENTAJE DE RETENCIÓN PROMEDIO	100%	100%	100%	100%

REPRESENTACIÓN E DESPESAS DE MATERIALES DE LA OBRA = 10%

Observaciones:

JOSÉ ADOLFO RODRÍGUEZ ANGULO
INGENIERO CIVIL
Reg. CP N° 98611

Tel. (01) 3561900 / Rm: 052821030 / 018302008

Fuente : propia

ANEXO 4-Indice De Durabilidad Agregados Gruesos

GEOCONTROL PERÚ S.A.C.

PROYECTOS - ASesoría - CONSULTORÍA - SERVICIO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELO Y PAVIMENTOS - ENSAYOS GEOTÉCNICOS - SUMINISTRO DE EQUIPOS E INSUMOS

INDICE DE DURABILIDAD AGREGADO GRUESO			
(NORMA: AASHTO T-210, MTC E214-99)			
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
OBRA	MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y PEATONAL DEL EJ. VIAL AV. DE LOS HERODES - AV. PACHACUTEC Y CREACIÓN DE PASOS A DESNIVEL EN LAS INTERSECCIONES CON LA AV. SAN JUAN, AV. MIGUEL VÁSQUEZ Y AV. 26 DE NOVIEMBRE DISTRITO DE SAN JUAN DE MIRAFLORES, VILLA MARIA DEL TRIUNFO Y VILLA EL SALVADOR, LIMA - LIMA		
SOLICITANTE	CONSORCIO VAL VES	REGISTRO	0147 GC
MATERIAL	GRAVA CHANCADA	HECHO POR	A.V.H.
PROCEDENCIA	CAJAMARQUILLA	REVISADO POR	J.P.A.
UBICACIÓN	PROVINCIA DE LIMA	FECHA DE ENSAYO	MAYO DEL 2015

DATOS DE LA MUESTRA				
MUESTRA	1			

INDICE DE DURABILIDAD AGREGADO FINO					
(NORMA: AASHTO T-210, MTC E214-99)					
COMBINACIÓN DE AGREGADOS	mm	IDENTIFICACION			Promedio
		1	2	3	
Tamaño máximo (pasa malla N° 4)	mm				
Hora de entrada a saturación					
Hora de salida de saturación (mas 10")					
Hora de entrada a decantación					
Hora de salida de decantación (mas 20")					
Altura máxima de material fino	mm				
Altura máxima de la arena	mm				
Índice de durabilidad	%				

INDICE DE DURABILIDAD AGREGADO GRUESO					
(NORMA: AASHTO T-210, MTC E214-99)					
COMBINACIÓN DE AGREGADOS	mm	IDENTIFICACION			Promedio
		1	2	3	
Tamaño máximo (pasa malla N° 200)	mm	0.075	0.075	0.075	
Hora de entrada a agitación		16:26	16:30	16:32	
Hora de salida de agitación (mas 10")		16:46	16:50	16:52	
Hora de entrada a decantación		17:13	17:16		
Hora de salida de decantación (mas 20")		17:33	17:35		
Altura de sedimentación	Pulg.	3.10	3.18	3.20	
Índice de durabilidad	%	52.0	52.0	52.0	52.0

JOSE ADOLFO RODRIGUEZ ANGULO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 16611

Tel. (01) 3561900 / Rpc: 952821929 / 947306807 / Entel: 946581415

geocontrolperu@hotmail.com

www.geocontrolperu.com

Fuente : propia

ANEXO 6- Ensayos De Caras Fracturas De Lo Agregados

GEOCONTROL PERÚ S.A.C.

PROYECTOS - ASESORIA - CONSULTORIA - SERVICIO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELO Y PAVIMENTOS - ENSAYOS GEOTÉCNICOS - SUMINISTRO DE EQUIPOS E INSUMOS

ENSAYO DE CARAS FRACTURAS DE LOS AGREGADOS
 (NORMA MTC E - 210)
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y PEATONAL DEL EJE VIAL AV. DE LOS HERÓES - AV. INCAHUATIG Y CREACIÓN DE PASOS A NIVEL EN LAS INTERSECCIONES CON LA AV. SAN JUAN - AV. MIGUEL AGUIRRE Y AV. 26 DE NOVIEMBRE, DISTRITO DE SAN JUAN DE MARIAGÜTES, VILLA MARIA DEL TRIUNFO Y VILLA EL SALVADOR, LIMA - LIMA.

SOLICITANTE CONSORCIO VIAL VES

MATERIAL GRAVA CHANCADA

PROCEDENCIA CAJAMARQUILLA

UBICACIÓN PROVINCIA DE LIMA

REGISTRO 0149 GC

HECHO POR A.V.H.

REVISADO POR J.R.A.

FECHA DE ENSAYO MAYO DEL 2019

DATOS DE LA MUESTRA
MUESTRA 1

A.- CON UNA CARA FRACTURADA

TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	Peso muestra (g)	Peso material con caras fracturadas (g)	% de caras fracturadas (B/A*100)	Retenido gradación original (%)	Promedio de caras fracturadas C/D
1 1/2"	1"	2000.0				
1"	3/4"	1500.0				
3/4"	1/2"	1200.3	1182.8	98.5	16.8	1657.7
1/2"	3/8"	301.8	291.4	96.5	18.2	1761.4
TOTAL		1502.2	1474.0	98.0	35.1	3419.1

PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA = $\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}} = 97.5\%$

B.- CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS

TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	Peso muestra (g)	Peso material con caras fracturadas (g)	% de caras fracturadas (B/A*100)	Retenido gradación original (%)	Promedio de caras fracturadas C/D
1 1/2"	1"	2000.0				
1"	3/4"	1500.0				
3/4"	1/2"	1200.3	1142.1	95.2	16.8	1600.9
1/2"	3/8"	301.8	250.1	82.8	18.2	1511.8
TOTAL		1502.2	1392.2	92.6	35.1	3112.7

PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA = $\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}} = 88.7\%$

 JOSÉ ADOLFO RODRÍGUEZ ANGULO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 88611

Tel. (01) 3561900 / Rpe: 952821929 / 947306807 / Entel: 946581415
 geocontrolperu@hotmail.com
 www.geocontrolperu.com

ANEXO 7- Contenido De Sales En Agregados

CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS				
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS				
OBRA	MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y PEATONAL DEL C/ VIAL AV. DE LOS HEROES - AV. PACHACUTEC Y CREACION DE PASOS A DESNIVEL EN LAS INTERSECCIONES CON LA AC. SAN JUAN - AV. MIGUEL IGLESIAS Y AV. 25 DE NOVIEMBRE, DISTRITO DE SAN JUAN DE MIRAFLORES, VILLA MARIA DEL TRIUNFO Y VILLA EL SALVADOR, LIMA - LIMA			
SOLICITANTE	CONSORCIO VIAL VES			
MATERIAL	GRAVA CHANCADA			
PROCEDENCIA	CAJAMARQUILLA			
UBICACIÓN	PROVINCIA DE LIMA			
		REGISTRO	0150.GC	
		HECHO POR	A.V.H.	
		REVISADO POR	J.R.A.	
		FECHA DE ENSAYO	MAYO DEL 2012	
DATOS DE LA MUESTRA				
MUESTRA	1			
Tamaño Máximo < N° 34"				
AGREGADO GRUESO				
N° DE ENSAYOS	IDENTIFICACION			
	2	4	1	
(1) Peso Tarro (Hacer 100 ml)	51.23	53.14	51.85	
(2) Peso de Tarro - Agua + Sal	54.60	100.40	65.90	
(3) Peso de Tarro seco - Sal	51.24	53.15	51.90	
(4) Peso de Sal (3 - 1)	0.01	0.01	0.01	
(5) Peso del Agua (2 - 3)	47.36	47.25	43.70	
(6) Porcentaje de sales (%)	0.021	0.021	0.021	
(7) Porcentaje de Sal	0.022%			
Observaciones :

JOSÉ ADOLFO RODRÍGUEZ ANGULO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 88611

Tel. (01) 3561900 / Rpc: 952821929 / 947306807 / Entel: 946581415
geocontrolperu@hotmail.com
www.geocontrolperu.com

Fuente : propia

I. Anexo de ensayos de Marshall.
a. Cemento

ANEXO 8- Ensayos Marshall- Cemento

ENSAYO MARSHALL - CEMENTO MTC E-504 AASHTO T-245 ASTM D-1559						
Nº ITEM	ENSAYO	UNIDAD	CÁLCULOS			PROMEDIO
1	Número de Briqueta	Nº	1	2	3	
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00
3	Grava triturada en Peso de la Mezcla (Mayor Nº 4)	%	38.00	38.00	38.00	
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (Menor Nº 4)	%	57.00	57.00	57.00	
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla 200)	%	0.00	0.00	0.00	
6	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020	
7	Peso Específico Aparente > Nº 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.720	2.720	2.720	
8	Peso Específico Nominal Grava > Nº 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.720	2.720	2.720	2.720
9	Peso Específico Aparente < Nº 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.710	2.710	2.710	
10	Peso Específico Nominal Arena < Nº 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.710	2.710	2.710	2.710
11	Peso Específico Aparente del Filler	gr/cc	2.200	2.200	2.200	
12	Altura Promedio de la Briqueta (ASTM D-3549, MTC E-507)	cm	6.67	6.69	6.69	
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire	gr	1233.2	1230.1	1229.6	
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1235.6	1232.7	1232.2	
15	Peso de la Briqueta Sumergido en el Agua a 25°C	gr	713.2	711.8	711.3	
16	Volumen de Briqueta	cc	522.4	520.9	520.9	
17	Peso Específico Aparente del Especimen (ASTM D-2726, MTC E-514)	cc	2.361	2.361	2.361	2.361
18	Peso Específico Teórico Máximo (ASTM D-2041, AASHTO T-209, MTC E-508)	cc	2.514	2.514	2.514	
19	Máxima Densidad Teórica	cc	2.506	2.506	2.506	
20	Vacíos con Aire (ASTM D-3203, MTC E-505)	%	6.1	6.1	6.1	6.1
21	Peso Específico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.714	2.714	2.714	
22	Peso Específico Nominal del Agregado Total	gr/cc	2.780	2.780	2.780	
23	Peso Específico efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.714	2.714	2.714	
24	Asfalto Absorvido por el Agregado Total	%	0.00	0.00	0.00	
25	Vol. del Agregado / Vol. Bruto de la Briqueta	%	82.6	82.7	82.6	
26	Vol. de Asfalto efectivo / Vol. de Briqueta	%	11.27	11.27	11.27	
27	Vacíos del Agregado Mineral	%	17.38	17.35	17.38	17.37
28	Asfalto Efectivo en Peso de la Mezcla	%	5.0	5.0	5.0	
29	Relación Betún Vacíos	%	64.8	65.0	64.8	64.9
30	Flujo (0.01 pulgada)	Pul.	9.0	9.1	9.2	9.1
31	Estabilidad sin corregir	Kilos	1193	1183	1191	
32	Factor de Estabilidad		0.96	0.96	0.96	
33	Estabilidad corregida	Kilos	1145	1136	1143	1141
34	Vacíos Llenados con Cemento Asfáltico	%	64.8	65.0	64.8	64.9
35	Índice de rigidez	Kilos	5010.0	4913.4	4892.8	4938.7
OBSERVACIONES	Temperatura de Mezclado a 150°C y Temperatura de Compactación de Briquetas a 140°C. Cemento Andino 0,5%					

Fuente: Propia

ANEXO 9-Ensayos Marshall- Cemento

ENSAYO MARSHALL - CEMENTO						
MTC E-504 AASHTO T-245 ASTM D-1559						
Nº ITEM	ENSAYO	UNIDAD	CALCULOS			PROMEDIO
1	Número de Briqueta	Nº	1	2	3	
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	5.50	5.50	5.50	5.50
3	Grava triturada en Peso de la Mezcla (Mayor Nº 4)	%	37.80	37.80	37.80	
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (Menor Nº 4)	%	56.70	56.70	56.70	
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla 200)	%	0.00	0.00	0.00	
6	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020	
7	Peso Específico Aparente > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.720	2.720	2.720	
8	Peso Específico Nominal Grava > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.720	2.720	2.720	2.720
9	Peso Específico Aparente < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.710	2.710	2.710	
10	Peso Específico Nominal Arena < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.710	2.710	2.710	2.710
11	Peso Específico Aparente del Filler	gr/cc	2.200	2.200	2.200	
12	Altura Promedio de la Briqueta (ASTM D-3549, MTC E-507)	cm	6.67	6.69	6.69	
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire	gr	1233.6	1237.2	1233.9	
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1235.9	1239.5	1237.1	
15	Peso de la Briqueta Sumergido en el Agua a 25°C	gr	715.6	718.2	718.2	
16	Volumen de Briqueta	cc	520.3	521.3	518.9	
17	Peso Específico Aparente del Especimen (ASTM D-2726, MTC E-514)	cc	2.371	2.373	2.378	2.374
18	Peso Específico Teórico Máximo (ASTM D-2041, AASHTO T-209, MTC E-508)	cc	2.490	2.490	2.490	
19	Máxima Densidad Teórica	cc	2.487	2.487	2.487	
20	Vacíos con Aire (ASTM D-3203, MTC E-505)	%	4.8	4.7	4.5	4.7
21	Peso Específico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.714	2.714	2.714	
22	Peso Específico Nominal del Agregado Total	gr/cc	2.794	2.794	2.794	
23	Peso Específico efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.714	2.714	2.714	
24	Asfalto Absorbido por el Agregado Total	%	0.00	0.00	0.00	
25	Vol. del Agregado / Vol. Bruto de la Briqueta	%	82.5	82.6	82.8	
26	Vol. de Asfalto efectivo / Vol. de Briqueta	%	12.67	12.68	12.71	
27	Vacíos del Agregado Mineral	%	17.45	17.37	17.21	17.34
28	Asfalto Efectivo en Peso de la Mezcla	%	5.5	5.5	5.5	
29	Relación Betún Vacíos	%	72.6	73.0	73.8	73.2
30	Flujo (0.01 pulgada)	Pul.	10.6	10.4	10.7	10.6
31	Estabilidad sin corregir	Kilos	1215	1185	1203	
32	Factor de Estabilidad		1.00	1.00	1.00	
33	Estabilidad corregida	Kilos	1215	1185	1203	1201
34	Vacíos Llenados con Cemento Asfáltico	%	72.6	73.0	73.8	73.2
35	Indice de rigidez	Kilos	4512.7	4485.9	4426.4	4475.0
RESERVACION	Temperatura de Mezclado a 150°C y Temperatura de Compactación de Briquetas a 140°C. Cemento Andino 0,5%					
Fuente: Propia						

ANEXO 10-Ensayos Marshall- Cemento

ENSAYO MARSHALL - CEMENTO MTC E-504 AASHTO T-245 ASTM D-1559						
Nº ITEM	ENSAYO	UNIDAD	CALCULOS			PROMEDIO
1	Número de Briqueta	Nº	1	2	3	
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	6.00	6.00	6.00	6.00
3	Grava triturada en Peso de la Mezcla (Mayor Nº 4)	%	37.60	37.60	37.60	
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (Menor Nº 4)	%	56.40	56.40	56.40	
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla 200)	%	0.00	0.00	0.00	
6	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020	
7	Peso Específico Aparente > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.720	2.720	2.720	
8	Peso Específico Nominal Grava > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.720	2.720	2.720	2.720
9	Peso Específico Aparente < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.710	2.710	2.710	
10	Peso Específico Nominal Arena < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.710	2.710	2.710	2.710
11	Peso Específico Aparente del Filler	gr/cc	2.200	2.200	2.200	
12	Altura Promedio de la Briqueta (ASTM D-3549, MTC E-507)	cm	6.67	6.69	6.69	
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire	gr	1233.2	1234.2	1233.6	
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1234.1	1235.6	1235.0	
15	Peso de la Briqueta Sumergido en el Agua a 25°C	gr	718.9	719.2	719.6	
16	Volumen de Briqueta	cc	515.2	516.4	515.4	
17	Peso Específico Aparente del Especimen (ASTM D-2726, MTC E-514)	cc	2.394	2.390	2.393	2.392
18	Peso Específico Teórico Máximo (ASTM D-2041, AASHTO T-209, MTC E-508)	cc	2.470	2.470	2.470	
19	Máxima Densidad Teórica	cc	2.468	2.468	2.468	
20	Vacios con Aire (ASTM D-3203, MTC E-505)	%	3.1	3.3	3.1	3.2
21	Peso Específico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.714	2.714	2.714	
22	Peso Específico Nominal del Agregado Total	gr/cc	2.809	2.809	2.809	
23	Peso Específico efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.714	2.714	2.714	
24	Asfalto Absorvido por el Agregado Total	%	0.00	0.00	0.00	
25	Vol. del Agregado / Vol. Bruto de la Briqueta	%	82.9	82.8	82.9	
26	Vol. de Asfalto efectivo / Vol. de Briqueta	%	14.00	13.97	13.99	
27	Vacios del Agregado Mineral	%	17.10	17.23	17.11	17.15
28	Asfalto Efectivo en Peso de la Mezcla	%	6.0	6.0	6.0	
29	Relación Betún Vacíos	%	81.8	81.1	81.8	81.6
30	Flujo (0.01 pulgada)	Pulg.	12.4	12.6	12.5	12.5
31	Estabilidad sin corregir	Kilos	1193	1201	1206	
32	Factor de Estabilidad		1.00	1.00	1.00	
33	Estabilidad corregida	Kilos	1193	1201	1206	1200
34	Vacios Llenados con Cemento Asfáltico	%	81.8	81.1	81.8	81.6
35	Índice de rigidez	Kilos	3787.8	3752.7	3798.4	3779.6
OBSERVACIONES	Temperatura de Mezclado a 150°C y Temperatura de Compactación de Briquetas a 140°C. Cemento Andino 0,5%					

Fuente: Propia

ANEXO 11-Ensayos Marshall- Cemento

ENSAYO MARSHALL - CEMENTO MTC E-504 AASHTO T-245 ASTM D-1559						
Nº ITEM	ENSAYO	UNIDAD	CALCULOS			PROMEDIO
1	Número de Briqueta	Nº	1	2	3	
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	6.50	6.50	6.50	6.50
3	Grava triturada en Peso de la Mezcla (Mayor Nº 4)	%	37.40	37.40	37.40	
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (Menor Nº 4)	%	56.10	56.10	56.10	
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla 200)	%	0.00	0.00	0.00	
6	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020	
7	Peso Específico Aparente > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.720	2.720	2.720	
8	Peso Específico Nominal Grava > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.720	2.720	2.720	2.720
9	Peso Específico Aparente < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.710	2.710	2.710	
10	Peso Específico Nominal Arena < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.710	2.710	2.710	2.710
11	Peso Específico Aparente del Filler	gr/cc	2.200	2.200	2.200	
12	Altura Promedio de la Briqueta (ASTM D-3549, MTC E-507)	cm	6.67	6.69	6.69	
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire	gr	1229.6	1230.2	1233.7	
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1230.5	1231.1	1234.6	
15	Peso de la Briqueta Sumergido en el Agua a 25°C	gr	719.6	721.0	722.9	
16	Volumen de Briqueta	cc	510.9	510.1	511.7	
17	Peso Específico Aparente del Especimen (ASTM D-2726, MTC E-514)	cc	2.407	2.412	2.411	2.410
18	Peso Específico Teórico Máximo (ASTM D-2041, AASHTO T-209, MTC E-508)	cc	2.447	2.447	2.447	
19	Máxima Densidad Teórica	cc	2.450	2.450	2.450	
20	Vacíos con Aire (ASTM D-3203, MTC E-505)	%	1.6	1.4	1.5	1.5
21	Peso Específico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.714	2.714	2.714	
22	Peso Específico Nominal del Agregado Total	gr/cc	2.824	2.824	2.824	
23	Peso Específico efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.714	2.714	2.714	
24	Asfalto Absorvido por el Agregado Total	%	0.00	0.00	0.00	
25	Vol. del Agregado / Vol. Bruto de la Briqueta	%	82.9	83.1	83.1	
26	Vol. de Asfalto efectivo / Vol. de Briqueta	%	15.46	15.49	15.48	
27	Vacíos del Agregado Mineral	%	17.09	16.92	16.95	16.99
28	Asfalto Efectivo en Peso de la Mezcla	%	6.5	6.5	6.5	
29	Relación Betún Vacíos	%	90.4	91.5	91.4	91.1
30	Flujo (0.01 pulgada)	Pul.	14.5	14.3	14.6	14.5
31	Estabilidad sin corregir	Kilos	1133	1128	1136	
32	Factor de Estabilidad		1.00	1.00	1.00	
33	Estabilidad corregida	Kilos	1133	1128	1136	1132
34	Vacíos Llenados con Cemento Asfáltico	%	90.4	91.5	91.4	91.1
35	Indice de rigidez	Kilos	3076.3	3105.6	3063.3	3081.7
OBSERVACIONES	Temperatura de Mezclado a 150°C y Temperatura de Compactación de Briquetas a 140°C. Cemento Andino 0,5%					

Fuente: Propia

b. Siles

ANEXO 12-Ensayos Marshall- Silice

ENSAYO MARSHALL - SILICE						
MTC E-504 AASHTO T-245 ASTM D-1559						
Nº ITEM	ENSAYO	UNIDAD	CÁLCULOS			PROMEDIO
1	Número de Briqueta	Nº	1	2	3	
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00
3	Grava triturada en Peso de la Mezcla (Mayor Nº 4)	%	38.08	38.08	38.08	
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (Menor Nº 4)	%	56.92	56.92	56.92	
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla 200)	%	0.00	0.00	0.00	
6	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020	
7	Peso Específico Aparente > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.662	2.662	2.662	
8	Peso Específico Nominal Grava > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.719	2.719	2.719	2.691
9	Peso Específico Aparente < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.700	2.700	2.700	
10	Peso Específico Nominal Arena < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.736	2.736	2.736	2.718
11	Peso Específico Aparente del Filler	gr/cc	2.200	2.200	2.200	
12	Altura Promedio de la Briqueta (ASTM D-3549, MTC E-507)	cm	6.67	6.69	6.69	
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire	gr	1230.1	1229.3	1229.4	
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1232.4	1231.5	1231.7	
15	Peso de la Briqueta Sumergido en el Agua a 25°C	gr	708.6	708.4	708.7	
16	Volumen de Briqueta	cc	523.8	523.1	523.0	
17	Peso Específico Aparente del Especimen (ASTM D-2726, MTC E-514)	cc	2.348	2.350	2.351	2.350
18	Peso Específico Teórico Máximo (ASTM D-2041, AASHTO T-209, MTC E-508)	cc	2.514	2.514	2.514	
19	Máxima Densidad Teórica	cc	2.500	2.500	2.500	
20	Vacios con Aire (ASTM D-3203, MTC E-505)	%	6.6	6.5	6.5	6.5
21	Peso Específico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.685	2.685	2.685	
22	Peso Específico Nominal del Agregado Total	gr/cc	2.729	2.729	2.729	
23	Peso Específico efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.707	2.707	2.707	
24	Asfalto Absorvido por el Agregado Total	%	0.31	0.31	0.31	
25	Vol. del Agregado / Vol. Bruto de la Briqueta	%	83.1	83.2	83.2	
26	Vol. de Asfalto efectivo / Vol. de Briqueta	%	10.30	10.31	10.31	
27	Vacios del Agregado Mineral	%	16.90	16.84	16.82	16.85
28	Asfalto Efectivo en Peso de la Mezcla	%	4.7	4.7	4.7	
29	Relación Betún Vacíos	%	61.0	61.2	61.3	61.2
30	Flujo (0.01 pulgada)	Pul.	10.6	10.5	10.6	10.6
31	Estabilidad sin corregir	Kilos	1268	1283	1270	
32	Factor de Estabilidad		0.96	0.96	0.96	
33	Estabilidad corregida	Kilos	1217	1232	1219	1223
34	Fluencia	mm	2.7	2.7	2.7	2.7
35	Factor de Rigidez	Kilos	4521.2	4618.2	4528.3	4555.9
OBSERVACION Temperatura de Mezclado a 145°C y Temperatura de Compactación de Briquetas a 137°C. Relleno Mineral Filler Cal Hidratada 0% Cemento Asfáltico Pen 80 /100 Refinería Repsol						

Fuente: Propia

ANEXO 13-Ensayos Marshall- Silice

ENSAYO MARSHALL - SILICE MTC E-504 AASHTO T-245 ASTM D-1559						
Nº ITEM	ENSAYO	UNIDAD	CÁLCULOS			PROMEDIO
1	Número de Briqueta	Nº	1	2	3	
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	5.50	5.50	5.50	5.50
3	Grava triturada en Peso de la Mezcla (Mayor Nº 4)	%	37.88	37.88	37.88	
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (Menor Nº 4)	%	56.62	56.62	56.62	
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla 200)	%	0.00	0.00	0.00	
6	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020	
7	Peso Específico Aparente > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.662	2.662	2.662	
8	Peso Específico Nominal Grava > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.719	2.719	2.719	2.691
9	Peso Específico Aparente < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.700	2.700	2.700	
10	Peso Específico Nominal Arena < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.736	2.736	2.736	2.718
11	Peso Específico Aparente del Filler	gr/cc	2.200	2.200	2.200	
12	Altura Promedio de la Briqueta (ASTM D-3549, MTC E-507)	cm	6.67	6.69	6.69	
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire	gr	1233.5	1231.7	1232.0	
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1235.1	1233.2	1233.6	
15	Peso de la Briqueta Sumergido en el Agua a 25°C	gr	714.5	713.5	714.0	
16	Volumen de Briqueta	cc	520.6	519.7	519.6	
17	Peso Específico Aparente del Especimen (ASTM D-2726, MTC E-514)	cc	2.369	2.370	2.371	2.370
18	Peso Específico Teórico Máximo (ASTM D-2041, AASHTO T-209, MTC E-508)	cc	2.494	2.494	2.494	
19	Máxima Densidad Teórica	cc	2.481	2.481	2.481	
20	Vacíos con Aire (ASTM D-3203, MTC E-505)	%	5.0	5.0	4.9	5.0
21	Peso Específico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.685	2.685	2.685	
22	Peso Específico Nominal del Agregado Total	gr/cc	2.729	2.729	2.729	
23	Peso Específico efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.707	2.707	2.707	
24	Asfalto Absorbido por el Agregado Total	%	0.31	0.31	0.31	
25	Vol. del Agregado / Vol. Bruto de la Briqueta	%	83.4	83.4	83.5	
26	Vol. de Asfalto efectivo / Vol. de Briqueta	%	11.59	11.59	11.60	
27	Vacíos del Agregado Mineral	%	16.59	16.57	16.54	16.57
28	Asfalto Efectivo en Peso de la Mezcla	%	5.2	5.2	5.2	
29	Relación Betún Vacíos	%	69.8	69.9	70.1	70.0
30	Flujo (0.01 pulgada)	Pul.	13.0	13.0	13.1	13.0
31	Estabilidad sin corregir	Kilos	1350	1351	1352	
32	Factor de Estabilidad		1.00	1.00	1.00	
33	Estabilidad corregida	Kilos	1350	1351	1352	1351
34	Fluencia	mm	3.3	3.3	3.3	3.3
35	Índice de rigidez	Kilos	4088.4	4091.5	4063.2	4081.0
OBSERVACION: Temperatura de Mezclado a 145°C y Temperatura de Compactación de Briquetas a 137°C. Relleno Mineral Filler Cal Hidratada 0% Cemento Asfáltico Pen 80/100 Refinería Repsol						

Fuente: Propia

ANEXO 14-Ensayos Marshall- Silice

ENSAYO MARSHALL - SILICE MTC E-504 AASHTO T-245 ASTM D-1559						
Nº ITEM	ENSAYO	UNIDAD	CÁLCULOS			PROMEDIO
1	Número de Briqueta	Nº	1	2	3	
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	6.00	6.00	6.00	6.00
3	Grava triturada en Peso de la Mezcla (Mayor Nº 4)	%	37.68	37.68	37.68	
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (Menor Nº 4)	%	56.32	56.32	56.32	
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla 200)	%	0.00	0.00	0.00	
6	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020	
7	Peso Específico Aparente > Nº 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.662	2.662	2.662	
8	Peso Específico Nominal Grava > Nº 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.719	2.719	2.719	2.691
9	Peso Específico Aparente < Nº 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.700	2.700	2.700	
10	Peso Específico Nominal Arena < Nº 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.736	2.736	2.736	2.718
11	Peso Específico Aparente del Filler	gr/cc	2.200	2.200	2.200	
12	Altura Promedio de la Briqueta (ASTM D-3549, MTC E-507)	cm	6.67	6.69	6.69	
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire	gr	1228.6	1229.3	1228.9	
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1229.5	1230.3	1229.8	
15	Peso de la Briqueta Sumergido en el Agua a 25 °C	gr	715.1	715.6	715.5	
16	Volumen de Briqueta	cc	514.4	514.7	514.3	
17	Peso Específico Aparente del Especimen (ASTM D-2726, MTC E-514)	cc	2.388	2.388	2.389	2.389
18	Peso Específico Teórico Máximo (ASTM D-2041, AASHTO T-209, MTC E-508)	cc	2.475	2.475	2.475	
19	Máxima Densidad Teórica	cc	2.462	2.462	2.462	
20	Vacíos con Aire (ASTM D-3203, MTC E-505)	%	3.5	3.5	3.4	3.5
21	Peso Específico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.685	2.685	2.685	
22	Peso Específico Nominal del Agregado Total	gr/cc	2.729	2.729	2.729	
23	Peso Específico efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.707	2.707	2.707	
24	Asfalto Absorvido por el Agregado Total	%	0.31	0.31	0.31	
25	Vol. del Agregado / Vol. Bruto de la Briqueta	%	83.6	83.6	83.7	
26	Vol. de Asfalto efectivo / Vol. de Briqueta	%	12.89	12.89	12.89	
27	Vacíos del Agregado Mineral	%	16.37	16.37	16.33	16.36
28	Asfalto Efectivo en Peso de la Mezcla	%	5.7	5.7	5.7	
29	Relación Betún Vacíos	%	78.7	78.7	78.9	78.8
30	Flujo (0.01 pulgada)	Pulg.	14.5	14.4	14.5	14.5
31	Estabilidad sin corregir	Kilos	1370	1374	1369	
32	Factor de Estabilidad		1.00	1.00	1.00	
33	Estabilidad corregida	Kilos	1370	1374	1369	1371
34	Fluencia	mm	3.7	3.7	3.7	3.7
35	Índice de rigidez	Kilos	3719.8	3756.6	3717.1	3731.1
OBSERVACIONES: Temperatura de Mezclado a 145 °C y Temperatura de Compactación de Briquetas a 137 °C. Relleno Mineral Filler Cal Hidratada 0% Cemento Asfáltico Pen 80/100 Refinería Repsol						

Fuente: Propia

ANEXO 15-Ensayos Marshall- Silice

ENSAYO MARSHALL - SILICE MTC E-504 AASHTO T-245 ASTM D-1559						
Nº ITEM	ENSAYO	UNIDAD	CÁLCULOS			PROMEDIO
1	Número de Briqueta	Nº	1	2	3	
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	6.50	6.50	6.50	6.50
3	Grava triturada en Peso de la Mezcla (Mayor Nº 4)	%	37.48	37.48	37.48	
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (Menor Nº 4)	%	56.02	56.02	56.02	
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla 200)	%	0.00	0.00	0.00	
6	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020	
7	Peso Específico Aparente > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.662	2.662	2.662	
8	Peso Específico Nominal Grava > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.719	2.719	2.719	2.691
9	Peso Específico Aparente < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.700	2.700	2.700	
10	Peso Específico Nominal Arena < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.736	2.736	2.736	2.718
11	Peso Específico Aparente del Filler	gr/cc	2.200	2.200	2.200	
12	Altura Promedio de la Briqueta (ASTM D-3549, MTC E-507)	cm	6.67	6.69	6.69	
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire	gr	1230.6	1229.7	1230.5	
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1231.5	1230.4	1231.1	
15	Peso de la Briqueta Sumergido en el Agua a 25°C	gr	717.1	717.5	717.4	
16	Volumen de Briqueta	cc	514.4	512.9	513.7	
17	Peso Específico Aparente del Especimen (ASTM D-2726, MTC E-514)	cc	2.392	2.398	2.395	2.395
18	Peso Específico Teórico Máximo (ASTM D-2041, AASHTO T-209, MTC E-508)	cc	2.456	2.456	2.456	
19	Máxima Densidad Teórica	cc	2.444	2.444	2.444	
20	Vacíos con Aire (ASTM D-3203, MTC E-505)	%	2.6	2.4	2.5	2.5
21	Peso Específico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.685	2.685	2.685	
22	Peso Específico Nominal del Agregado Total	gr/cc	2.729	2.729	2.729	
23	Peso Específico efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.707	2.707	2.707	
24	Asfalto Absorvido por el Agregado Total	%	0.31	0.31	0.31	
25	Vol. del Agregado / Vol. Bruto de la Briqueta	%	83.3	83.5	83.4	
26	Vol. de Asfalto efectivo / Vol. de Briqueta	%	14.08	14.11	14.10	
27	Vacíos del Agregado Mineral	%	16.68	16.50	16.57	16.58
28	Asfalto Efectivo en Peso de la Mezcla	%	6.2	6.2	6.2	
29	Relación Betún Vacíos	%	84.4	85.6	85.1	85.0
30	Flujo (0.01 pulgada)	Pul.	15.5	15.6	15.5	15.5
31	Estabilidad sin corregir	Kilos	1331	1335	1343	
32	Factor de Estabilidad		1.00	1.00	1.00	
33	Estabilidad corregida	Kilos	1331	1335	1343	1337
34	Fluencia	mm	3.9	4.0	3.9	3.9
35	Indice de rigidez	Kilos	3380.7	3369.2	3411.2	3387.0
OBSERVACION: Temperatura de Mezclado a 145°C y Temperatura de Compactación de Briquetas a 137°C. Relleno Mineral Filler Cal Hidratada 0% Cemento Asfáltico Pen 80/100 Refinería Repsol						

Fuente: Propia

c. Cal

ANEXO 16-Ensayos Marshall- Cal

ENSAYO MARSHALL - CAL MTC E-504 AASHTO T-245 ASTM D-1559						
Nº ITEM	ENSAYO	UNIDAD	CÁLCULOS			PROMEDIO
1	Número de Briqueta	Nº	1	2	3	
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00
3	Grava triturada en Peso de la Mezcla (Mayor Nº 4)	%	38.20	38.20	38.20	
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (Menor Nº 4)	%	56.80	56.80	56.80	
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla 200)	%	0.00	0.00	0.00	
6	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020	
7	Peso Específico Aparente > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.662	2.662	2.662	
8	Peso Específico Nominal Grava > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.719	2.719	2.719	2.691
9	Peso Específico Aparente < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.700	2.700	2.700	
10	Peso Específico Nominal Arena < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.736	2.736	2.736	2.718
11	Peso Específico Aparente del Filler	gr/cc	2.200	2.200	2.200	
12	Altura Promedio de la Briqueta (ASTM D-3549, MTC E-507)	cm	6.67	6.69	6.69	
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire	gr	1231.1	1228.3	1228.4	
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1232.4	1231.5	1231.7	
15	Peso de la Briqueta Sumergido en el Agua a 25°C	gr	715.2	716.3	716.5	
16	Volumen de Briqueta	cc	517.2	515.2	515.2	
17	Peso Específico Aparente del Especimen (ASTM D-2726, MTC E-514)	cc	2.380	2.384	2.384	2.383
18	Peso Específico Teórico Máximo (ASTM D-2041, AASHTO T-209, MTC E-508)	cc	2.512	2.512	2.512	
19	Máxima Densidad Teórica	cc	2.500	2.500	2.500	
20	Vacíos con Aire (ASTM D-3203, MTC E-505)	%	5.2	5.1	5.1	5.1
21	Peso Específico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.685	2.685	2.685	
22	Peso Específico Nominal del Agregado Total	gr/cc	2.729	2.729	2.729	
23	Peso Específico efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.707	2.707	2.707	
24	Asfalto Absorbido por el Agregado Total	%	0.31	0.31	0.31	
25	Vol. del Agregado / Vol. Bruto de la Briqueta	%	84.2	84.4	84.4	
26	Vol. de Asfalto efectivo / Vol. de Briqueta	%	10.52	10.54	10.54	
27	Vacíos del Agregado Mineral	%	15.77	15.63	15.62	15.67
28	Asfalto Efectivo en Peso de la Mezcla	%	4.7	4.7	4.7	
29	Relación Betún Vacíos	%	66.7	67.4	67.4	67.2
30	Flujo (0.01 pulgada)	Pul.	10.1	10.0	10.2	10.1
31	Estabilidad sin corregir	Kilos	1200	1201	1203	
32	Factor de Estabilidad		1.00	1.00	1.00	
33	Estabilidad corregida	Kilos	1200	1201	1203	1201
34	Fluencia	mm	2.6	2.5	2.6	2.6
35	Factor de Rigidez	Kilos	4677.6	4728.3	4643.4	4683.1
BSERVACIONE	Temperatura de Mezclado a 145°C y Temperatura de Compactación de Briquetas a 137°C. Relleno Mineral Filler Cal Hidratada 2% Cemento Asfáltico Pen 80/100 Refinería Repsol					

Fuente: Propia

ANEXO 17-Ensayos Marshall- Cal

ENSAYO MARSHALL - CAL						
MTC E-504 AASHTO T-245 ASTM D-1559						
Nº ITEM	ENSAYO	UNIDAD	CÁLCULOS			PROMEDIO
1	Número de Briqueta	Nº	1	2	3	
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	5.50	5.50	5.50	5.50
3	Grava triturada en Peso de la Mezcla (Mayor Nº 4)	%	38.00	38.00	38.00	
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (Menor Nº 4)	%	56.50	56.50	56.50	
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla 200)	%	0.00	0.00	0.00	
6	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020	
7	Peso Específico Aparente > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.662	2.662	2.662	
8	Peso Específico Nominal Grava > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.719	2.719	2.719	2.691
9	Peso Específico Aparente < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.700	2.700	2.700	
10	Peso Específico Nominal Arena < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.736	2.736	2.736	2.718
11	Peso Específico Aparente del Filler	gr/cc	2.200	2.200	2.200	
12	Altura Promedio de la Briqueta (ASTM D-3549, MTC E-507)	cm	6.67	6.69	6.69	
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire	gr	1232.5	1230.7	1231.0	
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1234.1	1233.2	1232.6	
15	Peso de la Briqueta Sumergido en el Agua a 25 °C	gr	723.5	724.5	723.5	
16	Volumen de Briqueta	cc	510.6	508.7	509.1	
17	Peso Específico Aparente del Especimen (ASTM D-2726, MTC E-514)	cc	2.414	2.419	2.418	2.417
18	Peso Específico Teórico Máximo (ASTM D-2041, AASHTO T-209, MTC E-508)	cc	2.492	2.492	2.492	
19	Máxima Densidad Teórica	cc	2.481	2.481	2.481	
20	Vacíos con Aire (ASTM D-3203, MTC E-505)	%	3.1	2.9	3.0	3.0
21	Peso Específico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.685	2.685	2.685	
22	Peso Específico Nominal del Agregado Total	gr/cc	2.729	2.729	2.729	
23	Peso Específico efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.707	2.707	2.707	
24	Asfalto Absorvido por el Agregado Total	%	0.31	0.31	0.31	
25	Vol. del Agregado / Vol. Bruto de la Briqueta	%	85.0	85.2	85.1	
26	Vol. de Asfalto efectivo / Vol. de Briqueta	%	11.88	11.91	11.90	
27	Vacíos del Agregado Mineral	%	15.03	14.84	14.88	14.92
28	Asfalto Efectivo en Peso de la Mezcla	%	5.2	5.2	5.2	
29	Relación Betún Vacíos	%	79.1	80.3	80.0	79.8
30	Flujo (0.01 pulgada)	Pul.	12.0	12.2	12.3	12.2
31	Estabilidad sin corregir	Kilos	1310	1310	1309	
32	Factor de Estabilidad		1.00	1.00	1.00	
33	Estabilidad corregida	Kilos	1310	1310	1309	1310
34	Fluencia	mm	3.0	3.1	3.1	3.1
35	Índice de rigidez	Kilos	4297.9	4227.4	4189.9	4238.4
OBSERVACIONES	Temperatura de Mezclado a 145°C y Temperatura de Compactación de Briquetas a 137°C.					
	Relleno Mineral Filler Cal Hidratada 2%					
	Cemento Asfáltico Pen 80/100 Refinería Repsol					

Fuente: Propia

ANEXO 18-Ensayos Marshall- Cal

ENSAYO MARSHALL - CAL MTC E-504 AASHTO T-245 ASTM D-1559						
Nº ITEM	ENSAYO	UNIDAD	CÁLCULOS			PROMEDIO
1	Número de Briqueta	Nº	1	2	3	
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	6.00	6.00	6.00	6.00
3	Grava triturada en Peso de la Mezcla (Mayor Nº 4)	%	37.80	37.80	37.80	
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (Menor Nº 4)	%	56.20	56.20	56.20	
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla 200)	%	0.00	0.00	0.00	
6	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.000	1.020	1.000	
7	Peso Específico Aparente > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	6.000	2.662	6.000	
8	Peso Específico Nominal Grava > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	37.797	2.719	37.797	2.691
9	Peso Específico Aparente < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	56.203	2.700	56.203	
10	Peso Específico Nominal Arena < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.736	2.736	2.736	2.718
11	Peso Específico Aparente del Filler	gr/cc	2.200	2.200	2.200	
12	Altura Promedio de la Briqueta (ASTM D-3549, MTC E-507)	cm	6.67	6.69	6.69	
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire	gr	1227.6	1228.3	1227.9	
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1228.5	1229.3	1229.8	
15	Peso de la Briqueta Sumergido en el Agua a 25°C	gr	721.2	722.4	721.4	
16	Volumen de Briqueta	cc	507.3	506.9	508.4	
17	Peso Específico Aparente del Especimen (ASTM D-2726, MTC E-514)	cc	2.420	2.423	2.415	2.419
18	Peso Específico Teórico Máximo (ASTM D-2041, AASHTO T-209, MTC E-508)	cc	2.470	2.470	2.470	
19	Máxima Densidad Teórica	cc	2.462	2.462	2.462	
20	Vacíos con Aire (ASTM D-3203, MTC E-505)	%	2.0	1.9	2.2	2.0
21	Peso Específico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.685	2.685	2.685	
22	Peso Específico Nominal del Agregado Total	gr/cc	2.729	2.729	2.729	
23	Peso Específico efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.707	2.707	2.707	
24	Asfalto Absorbido por el Agregado Total	%	0.31	0.31	0.31	
25	Vol. del Agregado / Vol. Bruto de la Briqueta	%	84.7	84.8	84.6	
26	Vol. de Asfalto efectivo / Vol. de Briqueta	%	13.25	13.27	13.23	
27	Vacíos del Agregado Mineral	%	15.27	15.15	15.43	15.28
28	Asfalto Efectivo en Peso de la Mezcla	%	5.7	5.7	5.7	
29	Relación Betún Vacíos	%	86.8	87.6	85.7	86.7
30	Flujo (0.01 pulgada)	Pulg.	14.0	14.1	14.0	14.0
31	Estabilidad sin corregir	Kilos	1350	1325	1321	
32	Factor de Estabilidad		1.04	1.04	1.04	
33	Estabilidad corregida	Kilos	1404	1378	1374	1385
34	Fluencia	mm	3.6	3.6	3.6	3.6
35	Índice de rigidez	Kilos	3948.3	3847.7	3863.4	3886.5
OBSERVACIONES:	Temperatura de Mezclado a 145°C y Temperatura de Compactación de Briquetas a 137°C. Relleno Mineral Filler Cal Hidratada 2% Cemento Asfáltico Pen 80/100 Refinería Repsol					

Fuente: Propia

ANEXO 19-Ensayos Marshall- Cal

ENSAYO MARSHALL - CAL						
MTC E-504 AASHTO T-245 ASTM D-1559						
Nº ITEM	ENSAYO	UNIDAD	CÁLCULOS			PROMEDIO
1	Número de Briqueta	Nº	1	2	3	
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	6.50	6.50	6.50	6.50
3	Grava triturada en Peso de la Mezcla (Mayor Nº 4)	%	37.60	37.60	37.60	
4	Arenas combinadas en Peso de la Mezcla (Menor Nº 4)	%	55.90	55.90	55.90	
5	Filler Fino en Peso de la Mezcla (mínimo 65% pasa la Malla 200)	%	0.00	0.00	0.00	
6	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.020	1.020	1.020	
7	Peso Específico Aparente > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.662	2.662	2.662	
8	Peso Específico Nominal Grava > N° 4 (ASTM C-127, AASHTO T-85, MTC E-206)	gr/cc	2.719	2.719	2.719	2.691
9	Peso Específico Aparente < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.700	2.700	2.700	
10	Peso Específico Nominal Arena < N° 4 (ASTM C-128, AASHTO T-84, MTC E-205)	gr/cc	2.736	2.736	2.736	2.718
11	Peso Específico Aparente del Filler	gr/cc	2.200	2.200	2.200	
12	Altura Promedio de la Briqueta (ASTM D-3549, MTC E-507)	cm	6.67	6.69	6.69	
13	Peso de la Briqueta Seca en el Aire	gr	1229.6	1228.7	1229.5	
14	Peso de la Briqueta en el Aire Saturada Superficialmente Seca	gr	1231.5	1230.4	1231.1	
15	Peso de la Briqueta Sumergido en el Agua a 25°C	gr	717.1	717.5	717.4	
16	Volumen de Briqueta	cc	514.4	512.9	513.7	
17	Peso Específico Aparente del Especimen (ASTM D-2726, MTC E-514)	cc	2.390	2.396	2.393	2.393
18	Peso Específico Teórico Máximo (ASTM D-2041, AASHTO T-209, MTC E-508)	cc	2.456	2.456	2.456	
19	Máxima Densidad Teórica	cc	2.444	2.444	2.444	
20	Vacíos con Aire (ASTM D-3203, MTC E-505)	%	2.7	2.4	2.5	2.5
21	Peso Específico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.685	2.685	2.685	
22	Peso Específico Nominal del Agregado Total	gr/cc	2.729	2.729	2.729	
23	Peso Específico efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.707	2.707	2.707	
24	Asfalto Absorvido por el Agregado Total	%	0.31	0.31	0.31	
25	Vol. del Agregado / Vol. Bruto de la Briqueta	%	83.3	83.4	83.4	
26	Vol. de Asfalto efectivo / Vol. de Briqueta	%	14.09	14.12	14.11	
27	Vacíos del Agregado Mineral	%	16.75	16.56	16.64	16.65
28	Asfalto Efectivo en Peso de la Mezcla	%	6.2	6.2	6.2	
29	Relación Betún Vacíos	%	84.1	85.3	84.8	84.7
30	Flujo (0.01 pulgada)	Pul.	15.1	15.0	15.2	15.1
31	Estabilidad sin corregir	Kilos	1330	1328	1324	
32	Factor de Estabilidad		1.00	1.00	1.00	
33	Estabilidad corregida	Kilos	1330	1328	1324	1327
34	Fluencia	mm	3.8	3.8	3.9	3.8
35	Indice de rigidez	Kilos	3467.7	3485.6	3429.3	3460.9
BSERVACIONE	Temperatura de Mezclado a 145°C y Temperatura de Compactación de Briquetas a 137°C.					
	Relleno Mineral Filler Cal Hidratada 2% Cemento Asfaltico Pen 80/100 Refineria Repsol					
Fuente: Propia						

II. Ensayos lottman.

ANEXO 20-Ensayos Lottman – MAC con Silice

EFFECTO DE HUMEDAD SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS											
ASTM D-4867 AASHTO T-283 LOTTMAN MODIFICADO - SILICE											
Nº Probetas			Grupo Saturado				Grupo Seco				
% óptimo de cemento asfáltico:	5,80%										
Nº golpes por cara:		28	UNIDAD	04	05	06	PROMEDIO	01	02	03	PROMEDIO
A	Diametro		cm	10,13	10,19	10,13		10,21	10,07	10,19	
B	Espesor		cm	6,48	6,50	6,57		6,52	6,66	6,55	
C	Peso Probeta al Aire		gr	1213,2	1215,4	1212,9		1216,8	1219,6	1216,3	
D	Peso de la Probeta Saturada		gr	1217,2	1220,9	1218,6		1225,3	1228,7	1223,9	
E	Peso de la Probeta en el Agua		gr	697,9	700,7	699,4		703,0	705,3	703,5	
F	Volumen de la Probeta (D-E)		cc	519,3	520,2	519,2		522,3	523,4	520,4	
G	Peso Especifico Bulk de la Probeta (C-F)		gr/cc	2,336	2,336	2,336		2,330	2,330	2,337	
H	Peso Especifico Maximo (RICE)		gr/cc	2,505	2,505	2,505		2,505	2,505	2,505	
I	% Vacios 100*((H-G)/H)		%	6,74	6,73	6,74	6,7	7,00	6,98	6,70	6,9
J	Volumen de Vacios (F*I)/100		cc	34,99	35,01	35,01		36,55	36,53	34,85	
MUESTRA SATURADA EN VACIO 19 A 28" Hg. de 5 a 15min. Agua destilada 25ºC											
K	Peso de la Probeta Saturada		gr	1237,5	1242,6	1237,3		NO SE EJECUTA			
L	Peso de la Probeta en el Agua		gr	716,9	721,2	716,6					
M	Volumen de la Probeta (K-L)		cc	520,6	521,4	520,7					
N	Volumen de agua de Absorción (K-C)		cc	24,3	27,2	24,4					
O	Saturación (100*N)/J		%	69,5	77,7	69,7	72,3				
P	Hinchamiento 100*((M-F)/F)		%	0,25	0,23	0,29					
CONDICION DE SATURACION A 24Hrs. Baño Maria 60ºC											
Q	Espesor		cm	6,52	6,51	6,58					
R	Peso de la Probeta Saturada		gr	1242,7	1249,6	1244,5					
S	Peso de la Probeta en el Agua		gr	719,1	724,9	721,0					
T	Volumen de la Probeta (R-S)		cc	523,6	524,7	523,5					
U	Volumen de agua de Absorción (R-C)		cc	29,5	34,2	31,6					
V	Saturación (100*U)/J		%	84,3	97,7	90,3					
W	Hinchamiento 100*((T-F)/F)		%	0,83	0,87	0,83					
X	Carga de Tracción Indirecta		kg	434	431	496		743	792	825	
Y	Resistencia Seca (2*X)/(A*B*π)		kg/cm2	4,19	4,14	4,74		7,11	7,52	7,87	7,50
Z	Resistencia Humedad (2*X)/(A*Q*π)		kg/cm2	4,19	4,14	4,74	4,35				
	RESISTENCIA RETENIDA TSR 100 Stm/Std		%	58,1							
Observaciones:	Muestra saturada en vacio realizado por 15 min. a 25" Hg. Saturación mayor a 55 y menor a 80. TSR = 70% minimo										

Fuente: Propia

ANEXO 21-Ensayos Lottman – MAC con Cemento

EFECTO DE HUMEDAD SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS											
ASTM D-4867 AASHTO T-283 LOTTMAN MODIFICADO - CEMENTO											
Nº Probetas			Grupo Saturado				Grupo Seco				
% óptimo de cemento asfáltico:	5,90%										
Nº golpes por cara:		29	UNIDAD	04	05	06	PROMEDIO	01	02	03	PROMEDIO
A	Diametro		cm	10,18	10,18	10,18		10,18	10,16	10,16	
B	Espesor		cm	6,67	6,67	6,70		6,76	6,73	6,71	
C	Peso Probeta al Aire		gr	1251,2	1248,7	1247,1		1247,4	1248,5	1245,2	
D	Peso de la Probeta Saturada		gr	1260,0	1257,7	1254,6		1255,0	1256,9	1254,3	
E	Peso de la Probeta en el Agua		gr	726,3	725,3	721,1		723,0	724,2	723,3	
F	Volumen de la Probeta (D-E)		cc	533,7	532,4	533,5		532,0	532,7	531,0	
G	Peso Especifico Bulk de la Probeta (C-F)		gr/cc	2,344	2,345	2,338		2,345	2,344	2,345	
H	Peso Especifico Maximo (RICE)		gr/cc	2,527	2,527	2,527		2,527	2,527	2,527	
I	% Vacios 100*((H-G)/H)		%	7,23	7,19	7,50	7,3	7,21	7,25	7,20	7,2
J	Volumen de Vacios (F*I)/100		cc	38,57	38,26	39,99		38,37	38,64	38,24	
MUESTRA SATURADA EN VACIO 19 A 28" Hg. de 5 a 15min. Agua destilada 25°C											
K	Peso de la Probeta Saturada		gr	1276,9	1272,7	1271,8		NO SE EJECUTA			
L	Peso de la Probeta en el Agua		gr	740,8	737,2	737,0					
M	Volumen de la Probeta (K-L)		cc	536,1	535,5	534,8					
N	Volumen de agua de Absorción (K-C)		cc	25,7	24,0	24,7					
O	Saturación (100*N)/J		%	66,6	62,7	61,8	63,7				
P	Hinchamiento 100*((M-F)/F)		%	0,45	0,58	0,24					
CONDICION DE SATURACION A 24Hrs. Baño Maria 60°C											
Q	Espesor		cm	6,68	6,68	6,71					
R	Peso de la Probeta Saturada		gr	1277,5	1273,8	1273,2					
S	Peso de la Probeta en el Agua		gr	741,5	737,7	736,7					
T	Volumen de la Probeta (R-S)		cc	536,0	536,1	536,5					
U	Volumen de agua de Absorción (R-C)		cc	26,3	25,1	26,1					
V	Saturación (100*U)/J		%	68,2	65,6	65,3					
W	Hinchamiento 100*((T-F)/F)		%	0,43	0,69	0,56					
X	Carga de Tracción Indirecta		kg	401	369	391		486	454	470	
Y	Resistencia Seca (2*X)/(A*B*π)		kg/cm2	3,76	3,46	3,64		4,50	4,23	4,39	4,37
Z	Resistencia Humedad (2*X)/(A*Q*π)		kg/cm2	3,76	3,46	3,64	3,62				
	RESISTENCIA RETENIDA TSR 100 Stm/Std		%	82,7							
Muestra saturada en vacio realizado por 15 min. a 25" Hg.											
Observacion	Saturación mayor a 55 y menor a 80.										
	TSR = 70% minimo										

Fuente: Propia

ANEXO 22-Ensayos Lottman – MAC con Cal

EFECTO DE HUMEDAD SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS												
ASTM D-4867 AASHTO T-283 LOTTMAN MODIFICADO - CAL												
Nº Probetas			Grupo Saturado				Grupo Seco					
% óptimo de cemento asfáltico:	6,00%											
Nº golpes por cara:			29	UNIDAD	04	05	06	PROMEDIO	01	02	03	PROMEDIO
A	Diametro		cm	10,20	10,19	10,18			10,18	10,17	10,17	
B	Espesor		cm	6,75	6,77	6,77			6,76	6,74	6,74	
C	Peso Probeta al Aire		gr	1229,4	1231,2	1230,5			1232,4	1231,2	1234,5	
D	Peso de la Probeta Saturada		gr	1238,5	1241,2	1240,1			1241,4	1239,5	1243,5	
E	Peso de la Probeta en el Agua		gr	715,6	714,5	717,2			715,6	719,4	716,4	
F	Volumen de la Probeta (D-E)		cc	522,9	526,7	522,9			525,8	520,1	527,1	
G	Peso Especifico Bulk de la Probeta (C-F)		gr/cc	2,351	2,338	2,353			2,344	2,367	2,342	
H	Peso Especifico Maximo (RICE)		gr/cc	2,527	2,527	2,527			2,527	2,527	2,527	
I	% Vacios $100*((H-G)/H)$		%	6,96	7,50	6,88	7,1		7,25	6,32	7,32	7,0
J	Volumen de Vacios $(F*I)/100$		cc	36,39	39,48	35,96			38,11	32,88	38,58	
MUESTRA SATURADA EN VACIO 19 A 28" Hg. de 5 a 15min. Agua destilada 25°C												
K	Peso de la Probeta Saturada		gr	1254,2	1253,4	1255,3			NO SE EJECUTA			
L	Peso de la Probeta en el Agua		gr	725,4	724,5	727,4						
M	Volumen de la Probeta (K-L)		cc	526,5	525,4	524,5						
N	Volumen de agua de Absorción (K-C)		cc	24,8	22,2	24,8						
O	Saturación $(100*N)/J$		%	68,1	56,2	69,0	64,4					
P	Hinchamiento $100*((M-F)/F)$		%	0,69	-0,25	0,31						
CONDICION DE SATURACION A 24Hrs. Baño Maria 60°C												
Q	Espesor		cm	6,78	6,79	6,79						
R	Peso de la Probeta Saturada		gr	1252,3	1258,4	1262,1						
S	Peso de la Probeta en el Agua		gr	726,5	731,5	732,4						
T	Volumen de la Probeta (R-S)		cc	525,8	526,9	529,7						
U	Volumen de agua de Absorción (R-C)		cc	22,9	27,2	31,6						
V	Saturación $(100*U)/J$		%	62,9	68,9	87,9						
W	Hinchamiento $100*((T-F)/F)$		%	0,55	0,04	1,30						
X	Carga de Tracción Indirecta		kg	386	355	376		468	437	452		
Y	Resistencia Seca $(2*X)/(A*B*\pi)$		kg/cm2	3,57	3,28	3,47		4,33	4,06	4,20	4,20	
Z	Resistencia Humedad $(2*X)/(A*Q*\pi)$		kg/cm2	3,56	3,27	3,46	3,43					
	TSR		%	81,7								
Observaciones:	Muestra saturada en vacio realizado por 15 min. a 25" Hg.											
	Saturación mayor a 55 y menor a 80.											
	TSR = 70% minimo											

Fuente: Propia