

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS EN CALIENTE DISEÑADAS POR LA
METODOLOGÍA MARSHALL CON EL ENSAYO DE LA
RUEDA CARGADA DE HAMBURGO PARA EL
PROYECTO DE REHABILITACIÓN DE LA
CARRETERA DV IMPERIAL-PAMPAS**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR

**BACH. DE LA CRUZ BAZÁN PAULINO
BACH. PORRAS ZAVALA MARIO JOSÉ**

ASESOR: Ing. GUILLERMO LAZO LÁZARO

LIMA - PERÚ

AÑO - 2015

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar a este momento tan especial en la vida. A mis padres por ser quienes me han acompañado durante todo este proyecto y quiénes con sus consejos han sabido guiarme para culminar mi carrera profesional. A mi hermana, gracias a sus consejos, experiencia y apoyo incondicional. Asimismo, agradezco a mis profesores por su tiempo y por su apoyo y por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de esta Tesis.

Bach. Porras Zavala, Mario José

DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO: Por darme sabiduría, fuerza y voluntad para realizar mi trabajo de investigación, por permitirme culminar y estar conmigo en cada momento de mi vida.

A MI MADRE: Rosa Elvira Bazán Mendoza, por haber sabido guiarme por el Camino del bien, aconsejarme y cuidarme en toda las etapas de mi vida. Por estar siempre ahí cuando más la necesitaba, desde el primer día de mi vida hasta el día de hoy.

A MIS HERMANOS: Por brindarme su apoyo incondicional, los momentos que hemos compartido y ser el motor económico que mayormente empujo este sueño, sin su apoyo la culminación de mi trabajo de investigación no hubiera sido posible.

Bach. De la Cruz Bazán Paulino.

AGRADECIMIENTO

Nuestro Profundo y más sincero agradecimiento a nuestro Asesor de Tesis Msc. Guillermo Lazo Lázaro, por sus conocimientos, sus orientaciones, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para nuestra formación.

A su manera, ha ido capaz de ganarse nuestra lealtad y admiración, así como sentirnos en deuda con él por todo lo recibido durante el periodo de tiempo que ha durado esta Programa de Tesis.

A nuestro Asesor Msc. Guillermo Lazo Lázaro quien atendió nuestras consultas, nos hizo las correcciones necesarias, puso a nuestra disposición el material necesarios para realizar esta tesis y en general nos guio en el transcurso de este trabajo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1. <i>Problema Principal</i>	2
1.2.2. <i>Problemas Secundarios</i>	2
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.1. <i>Objetivo Principal</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos Secundarios</i>	3
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.1.1. <i>En el Ámbito Internacional</i>	5
2.1.2. <i>En el Ámbito Nacional</i>	5
2.2. BASES TEÓRICAS	34
2.2.1. <i>Definiciones conceptuales</i>	34
2.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	110
2.3.1. <i>Hipótesis General</i>	110
2.3.2. <i>Hipótesis Específicas</i>	110
2.3.3. <i>Variables</i>	111
CAPITULO III: DISEÑO METODOLOGICO.....	112
3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	112
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	112
3.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	112
3.3.1. <i>Descripción de los Instrumentos</i>	112
3.3.2. <i>Validez y Confiabilidad de los Instrumentos</i>	113
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS	113
3.5. ASPECTOS ÉTICOS	113

CAPITULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	114
4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE: MÉTODO DE MARSHALL:	114
4.1.1.- Resultados de los agregados.....	114
4.1.2. Resultados del análisis de la Arena chancada.	120
4.1.3.- Resultados del análisis de la piedra chancada de 1/2”.....	128
4.1.4.- Resultados del análisis de la piedra chancada de 3/4”.....	137
4.1.5.- Resultados de la variable independiente	167
4.2 ANÁLISIS DE LA VARIABLE DEPENDIENTE.....	169
4.3 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	171
4.4 DISCUSIÓN.....	171
CONCLUSIONES.....	173
RECOMENDACIONES:.....	174
BIBLIOGRAFÍA	175
ANEXOS.....	176

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Ubicación de la Carretera Imperial Pampas.....	6
Tabla 02. Afloramiento de la Formación Chambará en la carretera proyectada.....	21
Tabla 03. Afloramiento de la Unidad Chúlec – Pariatambo en la carretera proyectada	21
Tabla 04. Afloramiento de la Unidad correspondiente al Grupo Excélsior en la carretera proyectada	21
Tabla 05. Afloramiento de la Unidad Cuartario Coluvial en la carretera proyectada.	24
Tabla 06. Afloramiento de la Unidad Cuaternario Aluvional	25
Tabla 07. Sismicidad en Huancavelica, Provincia de Tayacaja, le corresponde la Zona II.....	33
Tabla 08. Causa – Efecto en la Carpeta Asfáltica.....	49
Tabla 09. Causa – Efecto en la Carpeta Asfáltica.....	56
Tabla 10. Causa – Efecto en la Carpeta Asfáltica.....	56
Tabla 11. Causa – Efecto en la Carpeta Asfáltica.....	57
Tabla 12. Huso Granulometría según Tamaño Máximo Nominal del Agregado	59
Tabla 13. Criterios del Instituto del Asfalto para Diseño Marshall	60
Tabla 14. Porcentaje Mínimo de VMA.....	61
Tabla 15. Operacionalización de Variables	111
Tabla 16. Granulometría de la arena natural	114
Tabla 17. Gravedad específica de la arena natural.....	115
Tabla 18. Equivalente de arena natural	116
Tabla 19. Límites de consistencia para la malla N° 40.....	117
Tabla 20. Límites de consistencia para la malla N°200.....	117
Tabla 21. Sales solubles totales.....	119
Tabla 22. Durabilidad al sulfato de magnesio	119
Tabla 23. Granulometría de la arena chancada	121
Tabla 24. Gravedad específica de la arena chancada	122
Tabla 25. Equivalente de arena de arena chancada.....	123
Tabla 26. límites de consistencia para la malla N° 40.....	124

Tabla 27. Límites de consistencia para la malla N°200.....	126
Tabla 28. Sales solubles totales.....	127
Tabla 29. Durabilidad al sulfato de magnesio	128
Tabla 30. Granulometría de la piedra chancada(1/2").....	129
Tabla 31. Gravedad especifica de la arena chancada	130
Tabla 32. Caras fracturadas de la piedra chancada.....	132
Tabla 33. Partículas chatas y alargadas	133
Tabla 34. Sales solubles totales.....	134
Tabla 35. Abrasión los ángeles	135
Tabla 36. Durabilidad al sulfato de magnesio	136
Tabla 37. granulometría de la piedra chancada(3/4")	137
Tabla 38. Gravedad especifica de la piedra chancada	138
Tabla 39. Caras fracturadas de la piedra chancada.....	139
Tabla 40. Partículas chatas y alargadas	140
Tabla 41. Abrasión los ángeles	141
Tabla 42. Durabilidad al sulfato de magnesio	142
Tabla 43. Dosificación de Agregados.....	143
Tabla 44. Resumen de la Granulometría de los Agregado	143
Tabla 45. Densidad máxima teórica RICE	145
Tabla 46. Cemento asfáltico 5.5%	146
Tabla 47. Cemento asfáltico 6.0%	147
Tabla 48. Cemento asfáltico 6.5%	148
Tabla 49. Cemento asfáltico 7.0%	149
Tabla 50. Cemento asfáltico 7.5%	150
Tabla 51. Peso unitario (gr./cc) vs cemento asfaltico (%)	151
Tabla 52. Vacíos (%) vs cemento asfáltico (%).....	152
Tabla 53 . V.M.A (%) vs cemento asfáltico (%).....	153
Tabla 54. V.F.A. (%) vs cemento asfáltico (%).....	154
Tabla 55. Flujo (mm) vs cemento asfaltico (%)	155
Tabla 56. Estabilidad (kg) vs cemento asfaltico (%).....	156
Tabla 57. Resumen de la Granulometría de los Agregado y Dosificación de Agregados.....	157

Tabla 58. Cemento asfáltico 5.5%	159
Tabla 59. Cemento asfáltico 6.0%	160
Tabla 60. Cemento asfáltico 6.5%	161
Tabla 61. Cemento asfáltico 7.0%	162
Tabla 62. Cemento asfáltico 7.5%	163
Tabla 63. Peso unitario (gr./cc) vs cemento asfáltico (%)	164
Tabla 64. Vacíos (%) vs cemento asfáltico (%).....	164
Tabla 65. V.M.A (%) vs cemento asfáltico (%).....	165
Tabla 66. V.F.A. (%) vs cemento asfáltico (%).....	165
Tabla 67. Flujo (mm) vs cemento asfáltico (%)	166
Tabla 68. Estabilidad (kg) vs cemento asfáltico (%).....	166
Tabla 69. Primer diseño de la mezcla asfáltica en caliente.....	167
Tabla 70. Segundo diseño de la mezcla asfáltica en caliente	168

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Geología regional del cuadrángulo de pampas.....	8
Figura 02. Geología regional del cuadrángulo de pampas.....	8
Figura 03. Leyenda de la estratigrafía del cuadrángulo de pampas.....	9
Figura 04. Leyenda de la estratigrafía del cuadrángulo de huancayo.....	10
Figura 05. Esquema de las principales unidades estructurales resultado de la evolución de la cordillera andina	30
Figura 06. Terremotos con ≥ 8 mm para el periodo 1513 – 1959	32
Figura 07. Representación de la composición típica de una mezcla asfáltica.	43
Figura 08. Ahuellamiento	46
Figura 09. Corrimiento	47
Figura 10. Exudación	48
Figura 11. Peladura.....	52
Figura 12. Fisura transversal.....	53
Figura 13. Fisura en bloque	54
Figura 14. Fisura de piel de cocodrilo	55
Figura 15. Método (a) incorrecto (b) correcto para apilar agregado con partículas grandes y pequeñas.....	76
Figura 16. Segregación causada por el buldózer.....	77
Figura 17. Máquina de desgaste de los ángeles.....	83
Figura 18. Análisis de tamices	91
Figura 19. Temperatura óptima para compactación.....	97
Figura 20. Colocación de mezcla asfáltica en moldes.	97
Figura 21. Martillo marshall de compactación.....	98
Figura 22. Briquetas en baño maría.....	100
Figura 23. Medición de la estabilidad marshall y fluencia.	101
Figura 24. Máquina de ensayo hamburg wheel-tracking device (hwttd).....	108

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 01. División de resultados en el método de la rueda cargada “Hamburgo”	109
Grafica 02: Curva granulométrica	115
Grafica 03: Límites de consistencia para la malla N°200	118
Grafica 04: Curva granulométrica de la arena chancada	121
gráfica 05: Límites de consistencia para la malla N°40	125
Grafica 06: Límites de consistencia para la malla N°200	127
Grafica 07: Curva granulométrica de la piedra chancada	130
Grafica 08: Curva granulométrica de la piedra chancada	138
Grafica 09: Huso granulométrico.....	144
Grafica 10: Huso granulométrico de los agregados.	158

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación consiste en evaluar la calidad de la carpeta asfáltica mediante el análisis de la rueda cargada de Hamburgo, usando el Método Marshall en la rehabilitación de la carretera de Imperial Pampas. El método de la investigación es de tipo cualitativo-cuantitativo. El problema consistió en determinar de qué manera el análisis de la rueda cargada de Hamburgo permite comprobar si la carpeta asfáltica usada en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas cumple con los estándares de calidad de acuerdo al método de Marshall. La hipótesis planteada es que la Rueda de Hamburgo permite comprobar que la carpeta asfáltica usada en la rehabilitación de la carretera Imperial pampas cumple con los estándares de calidad de acuerdo al método Marshall. Llegando a la conclusión que el método Marshall mostró buen performance en condiciones extremas, por cuanto se obtuvo en el umbral de aprobación.

PALABRAS CLAVES

Metodología Marshall, rueda cargada de Hamburgo, combinación específica de agregados, contenido óptimo de asfalto.

ABSTRACT

The research objective of this study is to assess the quality of the asphalt by analyzing the wheel loaded Hamburg using the Marshall method in the rehabilitation of the road from Imperial Pampas. The research method is qualitative - quantitative. The problem was to determine how the analysis of Hamburg loaded wheel lets you check whether the asphalt used in road rehabilitation Imperial Pampas meets quality standards according to the Marshall method. The hypothesis is that the Hamburg Wheel lets you check that the asphalt used in road rehabilitation Imperial Pampas meet the quality standards according to the Marshall method. I came to the conclusion that the Marshall method showed good performance in extreme conditions was obtained because the threshold of approval.

KEYWORDS

Marshall methodology, Hamburg loaded wheel, specific combination of aggregates, asphalt optimum content

INTRODUCCIÓN

Las mezclas bituminosas se utilizan como capa superficial en muchos tipos de pavimentos, debido a su facilidad de construcción, su capacidad de entregar una superficie lisa y silenciosa y su costo es relativamente bajo.

El diseño de las mezclas asfálticas en caliente se realiza generalmente procedimientos empíricos de laboratorio, lo que significa que se requiere la experiencia en campo para determinar si el análisis de laboratorio tiene correlación con el comportamiento del pavimento.

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas: Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existen varios métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla.

EL método empírico más utilizado es el Método Marshall, donde una vez determinado el porcentaje óptimo de Cemento Asfáltico, los ensayos se dirigen a determinar las propiedades mecánicas de las briquetas. Los dos aspectos principales del método Marshall son: la densidad – análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y su fluencia.

Los métodos de dosificación tienen como finalidad obtener las mejores proporciones de áridos, filler y cemento asfáltico, para así tener un equilibrio óptimo en todas las propiedades en el diseño de la mezcla.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

Nuestro problema radica en el estado actual de la red vial nacional que conecta las ciudades de Imperial y Pampas, actualmente estos sectores de la vía reflejan un camino no pavimentado (afirmado).

Es así que podemos acotar también algunas características que a la hora de hacer el uso de mezclas asfálticas en caliente estas no se toman en cuenta ya que en la mayoría de municipalidades no posee mucha información de este elemento y es por eso que recurren a las tecnologías de siempre.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema Principal

¿De qué manera el análisis de la rueda cargada de Hamburgo permite comprobar si la carpeta asfáltica usada en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas cumple con los estándares de calidad de acuerdo al método de Marshall?

1.2.2. Problemas Secundarios

1.2.2.1. ¿Son satisfactorios los áridos de la Mezcla asfáltica en caliente usada en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas?

1.2.2.2. ¿Cuáles son las proporciones de los agregados para la combinación granulométrica, empleados en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas?

1.2.2.3. ¿Cuál es la calidad de la mezcla asfáltica en caliente empleados en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo Principal

Evaluar la calidad de la carpeta asfáltica mediante el análisis de la rueda cargada de Hamburgo, usando el Método Marshall en la rehabilitación de la carretera de Imperial Pampas.

1.3.2. Objetivos Secundarios

1.3.2.1. Evaluar los áridos de la Mezcla asfáltica en caliente usada en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas.

1.3.2.2. Verificar las proporciones de los agregados para la combinación granulométrica, empleados en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas.

1.3.2.3. Evaluar la calidad de la mezcla asfáltica en caliente empleados en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas

1.4. Justificación de la Investigación

La obra, que consiste en la ejecución de un pavimento de 36.85 kilómetros en carpeta asfáltica en caliente, traerá como principales beneficios la reducción de tiempo de viaje, aumento de flujo vehicular en la zona y facilitación del intercambio comercial.

Contribuirá a la disminución de la pobreza y al desarrollo económico y social, beneficiando a 119,270 habitantes de la zona eminentemente rurales y bajos recursos.

1.5. Limitaciones de la Investigación

Las mezclas asfálticas han sido históricamente diseñadas con procedimientos teórico-empíricos de laboratorio, lo que significa que se requiere experiencia en campo para determinar si el análisis de laboratorio tiene correlación con el desempeño del pavimento para condiciones actuales. Aun con la correcta conjunción de estos procedimientos y el desarrollo del criterio de diseño de la mezcla, no se podría asegurar buenos grados de desempeño en el futuro, por ello se complementará con la Rueda

Cargada de Hamburgo, ya que la Rueda Cargada de Hamburgo simula el comportamiento de la mezcla asfáltica en su vida útil.

1.6. Viabilidad de la Investigación

El estudio comprende la investigación de campo a lo largo del tramo con obtención de muestras, ejecutar ensayos de laboratorio.

Analizar resultados obtenidos de laboratorio y establecer parámetros para el mejoramiento y diseño de pavimentos.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. En el Ámbito Internacional

“Diseño por el Método Marshall de mezclas asfálticas en la Planta de TECNOPAVIMENTOS S.A., Supervisor del Sistema de Gestión de Calidad y Auxiliar de Residente en Obra”- Bucaramanga – Colombia

El proyecto de grado esta descrito a una práctica empresarial que se desarrolló en dos obras de la Empresa TECNOPAVIMENTOS S.A. realizando control de calidad de los materiales, desarrollando ensayos de laboratorio y el ensayo de diseño de mezclas asfálticas por el método Marshall.

2.1.2. En el Ámbito Nacional

“Procedimiento y Sistematización del Diseño Marshall para Pavimentos en Altura para el Proyecto Vial Ayacucho – Abancay”

Aplicación de las Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) para el diseño y construcción d Pavimentos, comprender la metodología Marshall para el diseño de pavimentos.

2.1.2.1. UBICACIÓN

El tramo en estudio se encuentra ubicado en la Provincia de Tayacaja, departamento de Huancavelica y forma parte de la ruta nacional N° PE-3SD; tiene una longitud aproximada de 36.2 km y se encuentra a una altitud de 3800 a 4200 m.s.n.m.

Para acceder al Proyecto se efectúa por vía terrestre a través de las ciudades de La Oroya y Huancayo. El inicio del tramo se ubica a 30.0 Km. Al sureste de Huancayo, lugar donde se emplaza la estructura proyectada.

En el siguiente cuadro se indica el inicio y el fin de la vía en el tramo proyectado, estableciéndose sus altitudes respectivas (ver Tabla 01). El Acceso por la región Junín, se efectúa atravesando los distritos de Huancayo, Huayucachi, Ñahuiquiquio, Imperial y Pampas. Toda la ruta hasta Imperial está conformada por carretera

asfaltada y es transitable durante toda la época del año. El tiempo de transporte para lograr este recorrido oscila entre 8.0 a 9.0 horas, en función a las condiciones climáticas.

Tabla 01. Ubicación de la Carretera Imperial Pampas

LUGAR	COORDENADAS GEOGRAFICAS		COTA m.s.n.m.
	LATITUD	LONGITUD	
Km 00+000 Localidad de Imperial	12° 18' 00.12"	75° 04' 57.66"	3,804.00
Km 36+233 Localidad de Pampas	12° 23' 34.65"	74° 52' 11.31"	3,246.00

Los datos presentados en la Tabla N°01 corresponden al inicio y final del área de emplazamiento de la Carretera: Dv. Imperial – Pampas, indicándose las coordenadas geográficas y alturas reportadas.

2.1.2.2. CLIMA

Siendo los parámetros e Precipitación y Temperatura, función directa a la cota del terreno, en el área de emplazamiento de la vida proyectada se presenta los siguientes tipos de climas:

Clima Frígido o de Puna: Se encuentran sobre los 4,000 m.s.n.m. Presentan precipitaciones promedio de los 800mm. Y temperaturas promedio de 6°C.

Clima Frio: En el área de emplazamiento de la carretera se encuentra en los valles interandinos, los que se ubican entre los 3,000 y 4,000 m.s.n.m. Las precipitaciones promedio son de 600 mm/año y la temperatura promedio alrededor de 12°C con una ocurrencia de heladas durante el invierno.

2.1.2.3. GEOLOGÍA

El área de emplazamiento de la carretera proyectada correspondiente al Tramo: Imperial-Pampas, está contemplado dentro de las progresivas siguientes: Km. 00+000 al Km 36+233, presenta características geológicas particulares, que involucran la

conformación de estructuras simples y monótonas; sin embargo, producto de los procesos orogénicos ocurridos en la región circundante y adyacentes, se observan etapas de depósito, meteorización y periodos erosivos.

Por lo general, el área del proyecto se encuentra conformada por sedimentos de cobertura, rocas sedimentarias, metamórficas, volcánicas y rocas intrusivas. Todo el tramo en general presenta relieve ondulado, sin embargo es necesario indicar la presencia de tramos con topografía agreste en algunos sectores adyacentes, donde se emplaza depósitos recientes de naturaleza diversa: aluvial, residual y morrénico. Se tiene manifestaciones de algunos bofedales (adyacentes y circundantes), localizados en exploraciones efectuadas a profundidades de (2.50m.), donde se planten el mejoramiento correspondiente.

En los alrededores de la Carretera: Imperial – Pampas, proyectada se manifiestan afloramientos de rocas metamórficas, sedimentarias; Esquistos, Filitas, Calizas, Limoarcillitas, Areniscas, Argilitas y Limolitas, rocas Intrusivas de composición granítica, habiéndose reportado estas unidades en las exploraciones geológicas; del mismo modo se encuentran afloramientos de rocas ígneas volcánicas de composición andesítica, adyacente al tramo; sin embargo la litología mencionada se emplazara por debajo de depósitos recientes de naturaleza residual los que en profundidad alcanzarían hasta los 3.0m.

Circundante al área del proyecto se puede apreciar el afloramiento del El grupo Excélsior, Grupo Mitu y el Grupo Pucará, con las formaciones de Chambará y Aramachay, cubierto por depósitos glaciales.

Las rocas más antiguas que afloran en el área de emplazamiento y circundantes a la Carretera proyectada se encuentran representadas por las siguientes unidades estratégicas, cuyo mapa regional se presenta a continuación (ver Figura 01 y 02).

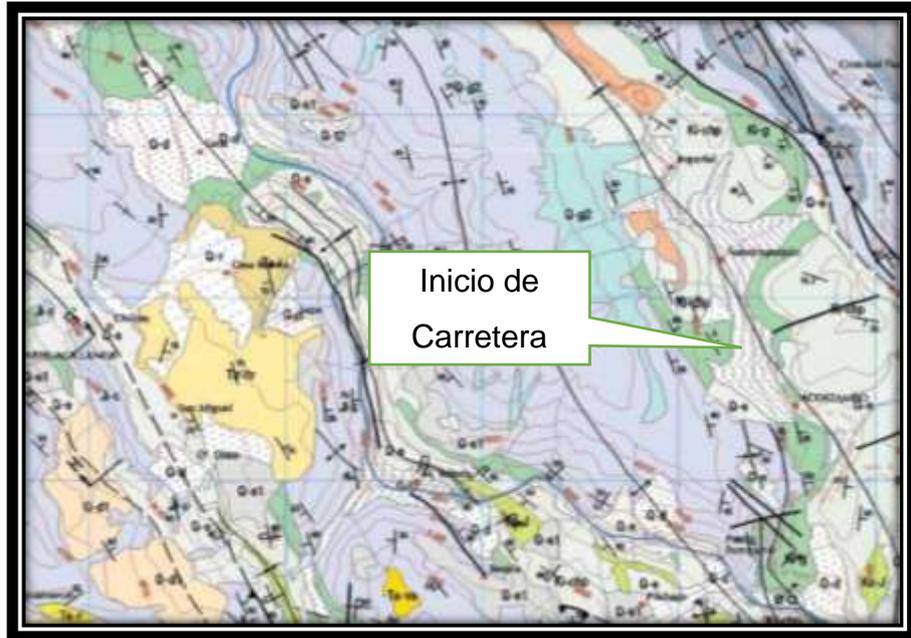


Figura 01. Geología Regional del Cuadrángulo de Pampas

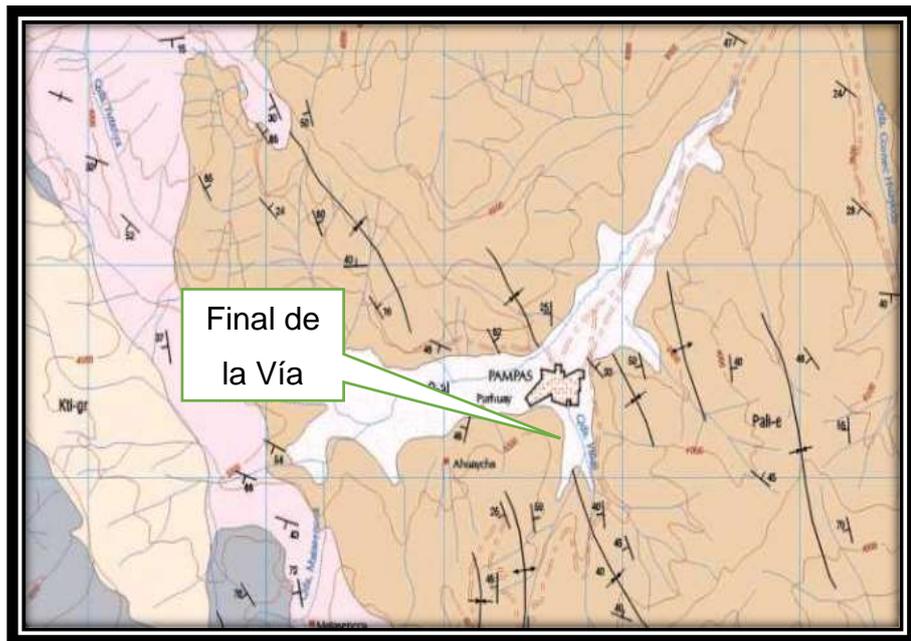


Figura 02. Geología Regional del Cuadrángulo de Pampas

2.1.2.4. ESTRATIGRAFÍA

El área de emplazamiento de la Carretera: Dv. Imperial-Pampas, se encuentra conformada por diversas unidades litoestratigráficas regionales, predominando principalmente las unidades metamórficas, sedimentarias, volcánico sedimentarias e intrusivas,

estas últimas afloran circundantes al Tramo Vial, Km. 00+000 hasta el Km. 36+233 y afloran en el tramo.

En algunos casos fueron emplazadas e instruidas por rocas ígneas, cuyas edades van desde Pre cambriano hasta el Cuartario reciente, alcanzando la columna estratigráfica un espesor considerable. A continuación se describe cada una de las formaciones geológicas reconocidas regionalmente, siguiendo el orden estratigráfico del más antiguo al más reciente y al final de la sección, se presenta la columna estratigráfica regional. A lo largo del tramo se observan afloramientos cubiertos por los depósitos del Cuartario reciente de naturaleza diversa.

En la elaboración del plano geológico local, se ha tomado como base el mapa geológico regional del cuadrángulo de Pampas (25-n) y Huancayo (25-m), a escala 1:100 000, publicado por el INGEMMET, cuya leyenda se muestra a continuación (ver Figura 03 y 04).

EDAD		UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	ROCAS SED. Y METAM.	ROCAS INTRUSIVAS							
CENOZOICO	TERC. CUATERNARIO	RECIENTE	Depósitos aluviales, travertinos y coluviales <i>Discordancia</i>		<table border="1"> <tr><td>Kti</td><td>da</td></tr> <tr><td></td><td>dl</td></tr> <tr><td></td><td>gr</td></tr> </table>	Kti	da		dl		gr
		Kti	da								
		dl									
	gr										
PLEISTOCENO	Conglomerado Llacato <i>Discordancia</i>	Op-II									
INFERIOR											
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR									
		INFERIOR	Fm. Chulec Gpo. Goyllarisquiza	KI-ch KI-g							
	TRIÁS. JURÁ.	INFERIOR	Gpo. Pucara	Jr-p							
		SUPERIOR									
PALEOZOICO	PERMIANO	SUPERIOR	Gpo. Mitu <i>Discordancia</i>	Ps-m							
		INFERIOR	Gpo. Copacabana <i>Discordancia</i>	Pl-c							
	INF.	Gpo. Excelsior <i>Discordancia</i>	Pal-e								
PRECAMBRIANO											

Figura 03. Leyenda de la Estratigrafía del Cuadrángulo de Pampas

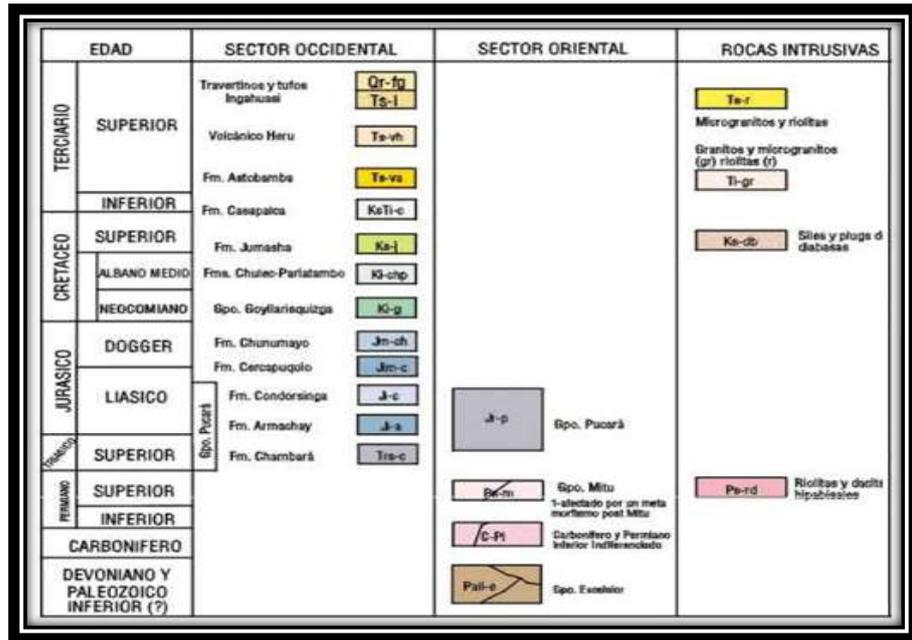


Figura 04. Leyenda de la Estratigrafía del Cuadrángulo de Huancayo

2.1.2.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las rocas que afloran en el área de estudio han sido afectadas por dos orogénesis principales. En la primera se plegaron y metamorizaron los sedimentos del paleozoico inferior (Grupo Excelsior), los movimientos subsiguientes originaron levantamientos arqueamientos de las rocas del Permiano inferior (Grupo Copacabana).

La segunda orogenia ocurrida entre fines del Cretáceo y el Paleógeno (orogénesis Andina), produjo el plegamiento y fallamiento de las rocas del Permiano superior (Grupo Mitu) y sedimentos del Mesozoico (Grupo Pucará y formaciones cretáceas), proceso que fue seguido por el emplazamiento de los plutones.

Estos movimientos se aprecian al Este del área de estudio, en rocas del Grupo Excelsior, donde es difícil seguir pliegues individuales. Estos pliegues en conjunto parecen formar parte de estructuras mayores del tipo de anticlinorios y sinclinorios profundamente erosionados.

Las rocas del Grupo Mitu y las mesozoicas están deformadas en pliegues amplios y abiertos, asociadas con estos pliegues se presentan importantes fallas inversas a lo largo de las cuales se han emplazado algunos stocks de intrusivos.

Todas las estructuras están orientadas según Noroeste – Sureste, coincidiendo con la dirección general de los Andes, destacándose claramente dos fajas longitudinales del Grupo Excelsior separadas por una faja central de sedimentos de los grupo Mitu y Pucará.

2.1.2.6. Sinclinal de Acostambo

Este pliegue tiene más de 15 Km. De longitud. Su eje de rumbo Noroeste para por el pueblo de Acostambo y sigue por la ladera oriental del valle del Mantaro, cerca al pueblo de Izcuchaca, donde esta oblicuamente cortado pro el Mantaro.

Este sinclinal tiene rumbo N 20 W, y está volcado hacia el Suroeste, mostrando sus flancos inclinaciones de 45° a 60° al Noroeste. La estructura continua siguiendo la misma dirección y prolonga hacia el cuadrángulo de Huancavelica donde está penetrada por un stock de granodiorita, el emplazamiento de este cuerpo es quizás responsable de su acortamiento local; más adelante el pliegue queda cubierto por volcánicos y formaciones más modernas.

En el área de estudio el sinclinal de Acostambo solo se observa en un sector restringido. La estructura en general se ha formado en rocas del grupo Pucará, areniscas Goyllarisquizga y calizas Chúlec.

2.1.2.6.1. Serie de Anticlinales y Sinclinales de la Sierra de Pampas

Para los efectos de esta descripción se denomina “Sierra de Pampas” a la porción montañosa de la península de Tayacaja que se extiende con dirección Noroeste-Sureste, por el lado occidental de la ciudad de Pampas.

Estas estructuras afectan a rocas del Grupo Excélsior fuertemente deformadas en un sistema de pliegues apretados de dirección dominante Noroeste. Los ejes de la estructura se encuentran en toda la extensión de esta unidad, pero solo puede seguirse por cortas distancias, pues a menudo desaparecen por replegamientos confusos y fallas.

En algunas localidades estos pliegues están volcados mostrando pronunciado arrugamiento de sus flancos.

Los esquistos y lutitas Excélsior infrayacen a las formaciones del Paleozoico inferior, por lo que se infiere que su deformación y metamorfismo tuvieron lugar en las primeras fases de la orogenia. Su estilo tectónico es marcadamente diferente al que muestran las formaciones del Paleozoico superior y del Mesozoico.

En el área de estudio las estructuras más importantes consisten de plegamientos y fallamientos, a continuación se reporta la presencia de pliegues en el tramo los cuales no inciden directamente sobre la estabilidad de la vía.

2.1.2.6.2. Fallas

En el área de Pampas se reconocen varias fallas inversas de rumbo General Noroeste, además existen fallas normales que afectan a las anteriores.

Regionalmente la falla inversa más importante atraviesa diagonalmente el área de estudio y se le ha denominado Falla Pampas. Esta zona corresponde a la unidad geomorfológica de la Cordillera Oriental, se Presenta dos sub zonas:

- En la subzona suroccidental dominan anticlinales (cercanas al tramo) amplios en cuyos núcleos aflora el Grupo Excélsior replegado y sinclinales en cuyas artesas queda a veces algo de caliza del Grupo Pucará.

- En la subzona nororiental existen 3 fallas inversas (cercanas al tramo) de algo ángulo y dirección Noroeste-Sureste, con estratificación y esquistosidad de rumbos paralelos a la dirección de las fallas. Esta faja compleja se prolonga hacia el SE con estructuras del mismo estilo; atraviesan todo el cuadrángulo de Pampas (fallas de Jabonillo, Pampas, Huari), sobre las calizas Pucará en sus respectivos núcleos, de las cuales se mencionará la falla Pampas.

2.1.2.6.3. Falla Pampas

Esta falla se reconoce en la hoja por 50Km. De longitud con un rumbo promedio de N45°W, prolongándose en ambos extremos a los cuadrángulos adyacentes de Huancayo y Huancavelica.

La falla en varios lugares muestra inclinaciones ente 50° y 75° al Suroeste. En todo su trayecto esta falla sobrepone las rocas del Grupo Excélsior del Paleozoico inferior, a unidades más jóvenes como los grupos Mitu y Pucará del Paleozoico superior y del Triásico - Jurásico, respectivamente. Teniendo en cuenta las formaciones puestas en contacto se infiere que la falla debe tener un desplazamiento considerable, cuya magnitud es difícil determinar en las actuales condiciones de nuestro conocimiento.

2.1.2.6.4. Tectónica Reciente

Bajo este título estudiaremos los movimientos recientes como removilización de fallas con cabalgamientos ligados a la topografía, plegamientos que afectan capas del Terciario superior y Cuartario, movimientos de bloques que influenciaron la génesis de los rasgos prominentes de la topografía actual y la removilización de fallas.

Ejemplo de este tectonismo esta falla de Cuenca, de dirección Noroeste – Sureste al borde Nororiental del sinclinal de Acostambo.

El sinclinal está limitado al Noreste por una falla inversa de alto ángulo que llamamos falla de Quintojo, donde se encuentran calizas Pucará. Esta estructura sigue hasta la carretera Acostambo-Pampas.

La falla de Cuenca queda en la margen derecha del Mantaro, a pesar de que se halla oculta por escombros su traza se puede inferir con buena aproximación. La falla también produce el cabalgamiento de las calizas Pucará encima del Cretáceo, pero esta vez del Suroeste hacia el Noreste.

2.1.2.7. GEOMORFOLOGÍA

2.1.2.7.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio presenta relieve ondulado y accidentado, se encuentra entre las cordilleras Occidental y Oriental de los Andes, en la región central del país. El punto más alto del lugar se encuentra a 4,874 m.s.n.m. mientras que el más bajo queda en el fondo del valle del rio Upamayo, de este modo el relieve máximo es de cerca de 4,000 m. dentro de nuestras zonas de estudios se ha determinado las siguientes unidades geomorfológicas.

2.1.2.7.1.1. Relieve Montañoso

Esta unidad geomorfológica constituye las partes más altas de las zonas de estudio y áreas adyacentes, se encuentra formado por cadenas de cerros y nevados alineados según el lineamiento general de los Andes, que emerge sobre una superficie levemente horizontal ubicada sobre los 4,000 m.s.n.m.

2.1.2.7.1.2. Cordillera Oriental

Se caracteriza por una gran uniformidad en la altitud de sus cumbres, estas como en el caso de las Altas Mesetas del lado accidental se relacionan con la “Superficie Puna”, aquí también la superficie ha sido destruida en gran parte por la erosión de los glaciares y torrentes. Presenta una topografía accidentada, cubierto por suelo producto de erosión de los glaciares.

2.1.2.7.1.3. Altiplano

Esta unidad geomorfológica representa una gran superficie de erosión, es la más importante dentro del área de estudio y está constituida por una zona de topografía suave con colinas y cimas truncadas que se encuentran entre los 4,000 y 4,5000 m.s.n.m., (BOWMAN 1916) y (MCLAUGHLIN 1924) la denominaron la Superficie Puna (14.5-6 MA).

El área de emplazamiento de la Carretera proyectada, correspondiente al Tramo Imperial-Pampas; regionalmente esta unidad se ubica sobre en gran parte del área de estudio, dada la posición altitudinal de las estructuras proyectadas; siendo atravesada por unidades geomorfológicas locales definidas como taludes, terrazas y la unidad de cauces, donde afloran rocas sedimentarias de naturaleza calcárea y rocas ígneas de origen intrusivo y volcánico.

En el área de estudio esta superficie esta labrada en rocas paleozoicas y parte en calizas del Triásico-Jurásico, sus bordes presentan numerosas entrantes y salientes producidas por la erosión regresiva de los numerosos riachuelos que en forma acelerada está reduciendo esta porción del altiplano.

En el curso del Cuaternario la erosión glacial y fluvial ha disecado la “Superficie Puna”, excavando las rocas más blandas como las capas rojas del Cretáceo-Terciario y dejando en relieve los afloramientos más resistentes, cuyas cumbres aplanadas testimonian su antigua extensión.

A estos rasgos generales se suma el notable desarrollo de una morfología cárstica en los extensos macizos calcáreos y particularmente en la espesa serie de calizas bien estratificadas del grupo Pucará.

En las calizas se advierten hoyos de gran superficie; pero en cambio son escasas las dolinas; la mayor parte de las aguas se infiltra por las diaclasas y raras veces por pozos cársticos en forma de embudos. Estos rasgos también aparecen en la superficie de los afloramientos de las calizas del Cretáceo y de los travertinos del Terciario superior.

Las Altas Mesetas del área están atravesadas por algunos ríos que corren por lo general en valles encañonados. Igualmente en grandes sectores se encuentran bien desarrolladas las formas de erosión glacial.

2.1.2.7.1.4. Áreas Glaciadas

Esta unidad se manifiesta en forma restringida en la cadena de cerros de la llamada “Península de Tayacaja” en la parte Sureste y las sierras de Huarmicocha y Huishccana en el lado Este, se reconocen los rasgos topográficos impresos por la glaciación cuaternaria.

En los lugares mencionados ya no existen nieves persistentes, sin embargo, es frecuente la presencia de circos glaciares, valles en “U”, crestas dentadas, lagunas glaciares, restos de morrenas, como

testimonios de que estas áreas han estado ocupadas por glaciares durante algunos periodos del Cuartario.

Está representada por morrenas frontales, anfiteatros y lagunas glaciares en las cabeceras de algunos valles.

Los cerros que forman esta unidad muestran perfil y dentado producido por acción glaciaria.

2.1.2.7.1.5. Valles

En esta unidad geomorfológica se incluyen en el Valle del Mantaro y sus numerosos tributarios que forman el sistema de drenaje de la región.

Varios tramos de este valle quedan dentro del Cuadrángulo de Pampas y conjuntamente con los numerosos valles subsidiarios origina una topografía muy quebrada y de fuerte relieve.

Entre el piso del valle y las cumbres más altas existe una diferencia de nivel de 3,200 m. Las laderas del valle son bastante empinadas, terminando con paredes casi verticales en los 100 m. próximos al lecho; esta última parte es una garganta que ha dejado suspendidos muchos de los valles subsidiarios.

Las laderas superiores a los 3,000 m. de altitud tienen pendientes moderadas y gradualmente ascienden a las cumbres, rematando algunas veces en crestas agudas o bien en cimas truncadas. En esta unidad es notable la presencia de valles relativamente amplios, cuyo fondo plano y tendido se interrumpe bruscamente en el cambio de pendiente que da paso a la ladera empinada inferior, donde los valles tienen fuerte gradiente y presentan saltos pronunciados.

Debido a la actividad erosiva de los cursos de agua que nacen en las partes altas de la Cordillera, se ha desarrollado una red hidrográfica que dado a su grado

de erosión, profundiza los afloramientos emplazados en el área, generando valles por donde discurren los principales ríos que drena la región, dejando como testigos de esta actividad, escenarios como terrazas aluviales, conoides aluvionales, valles a diferentes alturas sobre sus cauces actuales.

En el área de emplazamiento de la Carretera Imperial – Pampas, en el Tramo Km 00+000 Km 36+233, es posible visualizar el curso del río Upamayo alimentado por los afluentes de las nacientes o cabeceras de las diversas quebradas que drenan hacia las partes bajas como son la quebrada Jarraira.

2.1.2.7.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

El área de emplazamiento de la Carretera Imperial – Pampas, en el Tramo Km 00+000 – Km 36 + 233, perteneciente a la Ruta Nacional PE – 3 SC, se encuentra conformada por subunidades morfológicas definidas de la siguiente manera:

2.1.2.7.2.1. Unidad de Laderas

Conformada por afloramientos de rocas de naturaleza variada, donde se reporta macizos rocosos fracturados de naturales metamórfica y sedimentaria, definidas predominantemente como filitas, Pizarras, esquistos y calizas, las que se encuentran conformando las laderas adyacentes al área de emplazamientos del trazo de la Carretera Imperial – Pampas, se reportan laderas de pendientes moderadas a agrestes conformado por rocas metamórficas, dinamo metamórficas, definidas como filitas, esquistos y pizarras, sedimentitas (areniscas, limolitas, calizas) y circundantes rocas volcánicas tipo andesitas, presentan pendientes moderadas a ligeramente abrupta en las partes altas, en el área de

emplazamiento de la vía proyectada, es posible advertir esta unidad, cerca al valle del río Upamayo, tributario del río Mantaro, cercano al final del tramo, en el Km. 36+233, indicando que esta unidad se ubica en gran porcentaje de la obra proyectada.

2.1.2.7.2.2. Unidad de Taludes

Se encuentra constituida por diferentes materiales de naturaleza suelta cubriendo los afloramientos de sedimentitas, rocas metamórficas y volcánicas (cercanas y circundantes); por lo general ya se tiene la intervención del hombre, estando representado por los cortes efectuados en la actualidad, para la construcción de la Carretera a asfaltar, las mismas que presentan alturas del orden de 10.0m, de altura, caracterizándose por presentar un grado de estabilidad moderada a elevada por lo cual se han efectuado los análisis de estabilidad correspondiente a fin de asegurar su estabilidad, de acuerdo a lo establecido en los Términos de Referencia, lo cual será presentado en el informe correspondiente a este tema.

2.1.2.7.2.3. Unidad de Quebradas

En el área del proyecto se observa esta unidad en diversas amplitudes, las mismas que se encuentran atravesando, circundantes y adyacentes al tramo de la Carretera Imperial – Pampas. Estas se presentan inicialmente a modo de pequeñas superficies de erosión tipo cárcavas (tipificado como susceptible a la inestabilidad), subunidad que constituyen puntos de paso obligatorio para el emplazamiento de la vía (Quebrada Jarraira), en cuyos casos específicos se está proyectando la construcción de obras de drenaje, diseñado en el estudio hidrológico y de drenaje

proyectando la construcción de obras de drenaje, diseñado en el estudio hidrológico y de drenaje.

2.1.2.7.2.4. Unidad de Cauce

En el área de emplazamiento de la carretera proyecta se observa esta unidad conformada por los niveles máximos y mínimos del nivel de aguas básicamente visible en el Río Upamayo, la cual tiene incidencia directa en las obras proyectadas.

2.1.2.8. GEOLOGÍA LOCAL

2.1.2.8.1. ROCAS SEDIMENTARIAS

En el área de emplazamiento de la Carretera proyectada en el Tramo: Dv. Imperial – Pampas, se encuentra gran parte de este tipo de rocas, las cuales se intercalan con algunas rocas volcánicas andesitas del Grupo Mitú. Se reporta la presencia de macizos de rocas sedimentarias, petrográficamente definidas como calizas gris oscuras en algunas subunidades correspondientes a las formaciones del Grupo Pucará; asimismo afloran areniscas y conglomerados intercalados con limolitas y arcillitas, de color gris claro a parduzco correspondiente al Grupo Mitu, las que se encuentran fracturadas en superficie y presentan una coloración gris oscura a gris amarillenta. Regionalmente se menciona la presencia de algunos procesos de carsticidad asociados a las calizas; sin embargo en el área de emplazamiento carretera proyectada no se evidencia dicho proceso.

Por lo general, la presencia de esta unidad se encuentra asociada a los depósitos de naturaleza residual, depósitos coluviales, aluviales y bofedales (este último adyacente y circundante), los cuales se les ubica en buena parte de la zona de emplazamiento de esta obra vial.

Los afloramientos de rocas sedimentarias se presentan a lo largo de la Carretera Imperial Pampas (ver Tabla 02 y 03).

Tabla 02. Afloramiento de la Formación Chambará en la carretera proyectada

INICIO	FIN	DISTANCIA	DENOMINACIÓN	UNID
6+150	6+450	300	Fm. Chambará	Trs-c

Tabla 03. Afloramiento de la Unidad Chúlec – Pariatambo en la carretera proyectada

INICIO	FIN	DISTANCIA	DENOMINACIÓN	UNID
1+720	1+960	240	Chúlec-Pariatambo	Ki-chp

2.1.2.8.2. ROCAS METAMÓRFICAS

Este tipo de rocas se encuentran aflorando en el área de emplazamiento de la carretera Imperial Pampas, correspondiente a la Vía proyectada en el Tramo de la Ruta Nacional.

Por lo general son rocas que afloran en el área de emplazamiento del eje y los taludes de la Carretera Proyectada, a modo de una masa continua, la litología de estas rocas dinamo metamórficas varia de Esquistos, Pizarras y Filitas, reportándose esta litología en parte importante del tramo, al sureste del área(ver Tabla 04).

Tabla 04. Afloramiento de la Unidad correspondiente al Grupo Excélsior en la carretera proyectada

INICIO	FIN	DISTANCIA	DENOMINACIÓN	UNID
22+225	22+400	175	Gpo. Excélsior	Pali-e
22+440	22+470	30	Gpo. Excélsior	Pali-e
22+530	22+770	240	Gpo. Excélsior	Pali-e
22+850	23+220	370	Gpo. Excélsior	Pali-e
23+320	23+650	330	Gpo. Excélsior	Pali-e
23+800	23+840	40	Gpo. Excélsior	Pali-e
23+870	23+980	110	Gpo. Excélsior	Pali-e
24+160	33+900	9740	Gpo. Excélsior	Pali-e

2.1.2.8.3. DEPÓSITOS DEL CUARTARIO

Los materiales sueltos o no consolidados que se observan en el área de emplazamiento, correspondientes al proyecto de la Carretera Imperial – Pampas, en el Tramo: Km 00+000 – Km 36+233; crono estratigráficamente tienen una posición correspondiente al Cuartario Reciente u Holoceno.

Estos materiales se encuentran representados en las áreas de estudio por depósitos coluviales (Q-co), depósitos residuales, (Q-re), depósitos fluviales (Q-fl), depósitos aluviales (Q-al) y los depósitos de bofedales (circundantes y adyacentes al tramo). De la misma manera es posible considerar un tipo de depósito mixto que es el resultado de la mezcla o interdigitización entre los depósitos antes mencionados.

2.1.2.8.3.1. Depósitos Residuales (Q-re)

Los materiales que se originan por efecto de la meteorización de las rocas (metamórficas, sedimentarias, volcánicas), que al estar expuestas en la superficie se desintegran y descomponen mediante agentes externos del tipo climático para formar los suelos Residuales o Eluvionales que al ser transportadas por gravedad reciben el nombre de depósitos eluvionales, suelos no consolidados, depositándose en el pie del talud y sobre las laderas de pendientes moderadas en el área específica que nos ocupa estos depósitos se encuentran cubriendo los afloramientos de rocas metamórficas y sedimentarias, conformados por esquistos, filitas, pizarras y calizas predominantemente, los cuales al haber sido sometidos a los procesos de meteorización “in situ”, ha generado depósitos del orden 0.50m. a 3.0m. (estimado), modificable de acuerdo a los datos a ser obtenidos de las

exploraciones geotécnicas para los estudios de cimentación de las obras de contención y de drenaje, sobre los cuales se efectuarán las excavaciones con fines de construcción.

Estos depósitos se manifiestan a lo largo de la carretera, suprayaciendo a unidades sedimentarias, metamórficas e ígneas.

Afloramiento de la Unidad Cuartario Residual en la carretera proyectada

2.1.2.8.3.2. Depósitos Coluviales (Q- co)

Son suelos formados producto del desprendimiento y caída de suelos y rocas, por efecto de la gravedad, el material clástico es producido a partir de la meteorización de los macizos rocosos. Este material mayormente se encuentra conformado por fragmentos angulares de tamaño variable (bloques y gravas). Estos depósitos se manifiestan a lo largo de la carretera (ver Tabla 05).

Tabla 05. Afloramiento de la Unidad Cuartario Coluvial en la carretera proyectada.

INICIO	FIN	DISTANCIA	DENOMINACIÓN	UNID
0+560	0+910	350	Cuaternario Coluvial/Cúlec-Pariatambo	Q-co/Ki-chp
1+500	1+720	220	Cuaternario Coluvial/Cúlec-Pariatambo	Q-co/Ki-chp
2+730	2+900	170	Cuaternario Coluvial/Gpo. Goyllarisquizga	Q-co/Ki-g
3+530	3+725	195	Cuaternario Coluvial/Gpo. Goyllarisquizga	Q-co/Ki-g
4+020	4+070	50	Cuaternario Coluvial/Gpo. Goyllarisquizga	Q-co/Ki-g
4+600	4+660	60	Cuaternario Coluvial/Fm. Aramachay	Q-co/Ji-a
4+700	4+860	160	Cuaternario Coluvial/Fm. Condorsinga	Q-co/Ji-c
4+900	5+060	160	Cuaternario Coluvial/Fm. Aramachay	Q-co/Ji-a
6+560	6+660	100	Cuaternario Coluvial/Fm. Chambará	Q-co/Trs-c
6+900	7+320	420	Cuaternario Coluvial/Fm. Condorsinga	Q-co/Ji-c
7+810	8+480	670	Cuaternario Coluvial/Fm. Condorsinga	Q-co/Ji-c
8+770	9+300	530	Cuaternario Coluvial/Fm. Condorsinga	Q-co/Ji-c
9+640	9+840	200	Cuaternario Coluvial/Fm. Condorsinga	Q-co/Ji-c
10+240	10+330	90	Cuaternario Coluvial/Fm. Condorsinga	Q-co/Ji-c
10+480	10+880	400	Cuaternario Coluvial/Fm. Condorsinga	Q-co/Ji-c
10+950	11+020	70	Cuaternario Coluvial/Fm. Condorsinga	Q-co/Ji-c
12+100	12+860	760	Cuaternario Coluvial/Fm. Condorsinga	Q-co/Ji-c
13+800	13+900	100	Cuaternario Coluvial/Gpo. Mitu	Q-co/Ps-m
14+140	14+220	80	Cuaternario Coluvial/Gpo. Mitu	Q-co/Ps-m
14+330	14+400	70	Cuaternario Coluvial/Gpo. Mitu	Q-co/Ps-m
14+530	14+625	95	Cuaternario Coluvial/Gpo. Mitu	Q-co/Ps-m
14+830	14+960	130	Cuaternario Coluvial/Gpo. Mitu	Q-co/Ps-m
15+260	15+330	70	Cuaternario Coluvial/Gpo. Mitu	Q-co/Ps-m
16+030	16+120	90	Cuaternario Coluvial/Gpo. Mitu	Q-co/Ps-m
16+750	16+800	50	Cuaternario Coluvial/Gpo. Mitu	Q-co/Ps-m
17+300	17+400	100	Cuaternario Coluvial/Gpo. Mitu	Q-co/Ps-m
17+600	17+670	70	Cuaternario Coluvial/Gpo. Mitu	Q-co/Ps-m
17+965	17+975	10	Cuaternario Coluvial/Gpo. Mitu	Q-co/Ps-m
18+500	18+600	100	Cuaternario Coluvial/Gpo. Mitu	Q-co/Ps-m
20+680	20+760	80	Cuaternario Coluvial/Gpo. Mitu	Q-co/Ps-m
21+220	21+290	70	Cuaternario Coluvial/Gpo. Mitu	Q-co/Ps-m
22+400	22+440	40	Cuaternario Coluvial/Gpo. Excelsior	Q-co/Pali-e

2.1.2.8.3.3. Depósitos Fluviales (Q-alv)

Materiales originados por efecto del transporte a consecuencia de las precipitaciones pluviales en épocas de avenidas y están conformados por suelos no consolidados, de origen polimíctico, de granulometría heterométrica, los cuales se depositan en el pie del talud y sobre las laderas de pendientes moderadas, con manifestación de ensenadas abiertas, adyacentes al área de emplazamiento de la carretera proyectada. Estos depósitos se encuentran cubriendo los afloramientos de rocas metamórficas y sedimentarias a lo largo de la carretera Imperial Pampas. Los espesores de estos depósitos son variables entre 0.50m. a 3.0m (ver Tabla 06).

Tabla 06. Afloramiento de la Unidad Cuaternario Aluvional

INICIO	FIN	DISTANCIA	DENOMINACIÓN	UNID
1+165	1+220	55	Cuaternario Aluvional/Chúlec-Paríatambo	Q-alv/Ki-chp
4+270	4+285	15	Cuaternario Aluvional/Fm. Condorsinga	Q-alv/Ji-c
13+050	13+550	500	Cuaternario Aluvional/Gpo. Mitu	Q-alv/Ps-m
13+900	14+140	150	Cuaternario Aluvional/Gpo. Mitu	Q-alv/Ps-m
33+900	35+920	2020	Cuaternario Aluvional/Gpo. Excélsior	Q-alv/Pali-e
35+920	36+233	313	Cuaternario Aluvial	Q-al

2.1.2.8.3.4. Depósitos Aluviales (Q-al)

Son materiales producidos por el arrastre del agua a través de cauces definidos, tanto de Ríos como de quebradas, que particularmente se expone en el Río Upamayo, donde se emplazan materiales que pueden ser observados en los niveles de base actuales de dicho cauce, así como en las terrazas correspondientes a la planicie del valle del Río arriba mencionado. Estos

materiales se hallan conformados predominantemente por material fino englobando por escasos fragmentos de roca de tamaño variable como bolones y gravas de forma sub redondeadas, sustentadas en una matriz de arenas de grano medio y grueso, mal gradadas y un estado suelto a ligeramente compacto. Se encuentra en los cauces de las estructuras de paso como el puente proyectado, alcanzan espesores del orden de 0.5 a 7.0 metros, alcanzando en algunos casos alrededor de 10.0m, lo cual se ha verificado y ratificado en las perforaciones con fines de cimentación de puente Upamayo, entre las progresivas Km 35+950 al Km 36+233 final del tramo.

2.1.2.8.3.5. Depósitos Fluviales (Q – fl)

Son suelos de origen fluvial, conformado por materiales que han sido transportados a través de cauces definidos. Como es el caso del cauce del río Upamayo, los cuales pueden ser apreciados en sus niveles de base actual, el material está compuesto por clastos de gravas, arenas y limos, de formas sub redondeadas, la fracción limo y arcilla se reportan a modo de trazas, los cuales conforman una matriz, se ubican por lo general en la unidad de cauce.

En el área de emplazamiento de la estructura de la Carretera, se estiman espesores del orden de 10.0m a 15.0 m., lo cual debe ser ratificado de acuerdo a los datos a ser obtenidos de las exploraciones geotécnicas (perforaciones, con fines de cimentación del puente Upamayo).

Este tipo de depósitos también generan formas casi planas definidas como terrazas los que se interdigitan con los materiales aluviales.

2.1.2.9. CONDICIONES GEOTÉCNICAS

Las condiciones geotécnicas se han evaluado basándose en el análisis de los trabajos de campo y la información disponible, incluyen el cartografiado geotécnico del área de emplazamiento de la carretera: Imperial – Pampas. Tramo Km 00+000 – Km 36+233 y las investigaciones hacer efectuadas mediante calicatas (01 en cada sector inestable o sensible, o donde se requiere proyectar muros mayores de 5.0m de altura), donde se efectuará el cartografiado geotécnico de detalle. En los niveles de mayor importancia se realizaron ensayos de auscultación “in situ”, tales como densidad de campo, auscultación y muestreo de campo, del mismo modo se ha considerado ensayos no invasivos, tales como Refracción sísmica, en sectores con longitudes superiores a los 100ml.

2.1.2.9.1. Refracción Sísmica

Con el fin de determinar la estructura de los materiales constituyentes del suelo de fundación en la Carretera: Dv. Imperial – Pampas, se ha efectuado los ensayos de Refracción Sísmica, en los sectores específicos, lo cual servirá como elemento de criterio básico para la elaboración del diseño final de la proyección de Obras de contención y diseño de taludes, lo cual se ha verificado y corroborado mediante los métodos de prospección directos (perforaciones con diamantina y calicatas).

Mediante la Refracción Sísmico, se ha determinado las velocidades compresionales de ondas P, se establecerán los perfiles estratigráficos de los materiales de fundación, en función a sus velocidades de propagación de Ondas y/o sus características dinámicas, cuyas profundidades de investigación alcanzaron (un espesor de llega de 25.00m, a 30.00m.), según el objetivo específico de cada línea geo sísmicas; asimismo se determinarán los espesores de cada

uno de los estratos, constituyentes de los materiales de fundación, a partir del principio de la velocidad de ondas.

2.1.2.10. ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO

PROYECTO VIAL: CARRETERA: HUANCAYO – AYACUCHO.
TRAMO: IMPERIAL – PAMPAS
CONDICIONES SÍSMICAS Y EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

2.1.2.10.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El Perú es altamente sísmico debido a su ubicación geográfica en el centro geotectónico mundial Cinturón de Fuego Circumpacífico y a la existencia de la placa tectónica de Nazca que se introduce debajo de la placa Sudamericana, lo que ha producido eventos sísmicos catastróficos durante su historia y los seguirá generando en el futuro.

En 1940, se produjo un sismo de intensidad VII que se percibió en el Perú, extendiéndose hasta Arica en el Sur y Guayaquil en el Norte, afectando construcciones en las ciudades de Lima, Callao, Chancay, Lurín, etc.

En el contexto continental y mundial el área del proyecto se emplaza en el Perú, básicamente en el borde occidental de América del Sur, el cual se caracteriza por ser una de las regiones sísmicamente más activas en el mundo. El Perú forma parte de esta región y su actividad sísmica más importante está asociada al proceso de subducción de la Placa de Nazca (oceánica) bajo la Placa Sudamericana (continental), generando frecuentemente terremotos de magnitud elevada. Un segundo tipo de sismicidad, se desarrolla debido a las deformaciones corticales, presentes a lo largo de la Cordillera de los Andes (sin influencia en el contexto del proyecto), con sismos menores en magnitud y frecuencia. La distribución y origen de los sismos en el Perú, han sido tema de diversos estudios utilizando datos tele

sísmicos y regionales a fin de estudiar la geometría de la subducción de la Placa de Nazca bajo la Sudamericana (Stauder, 1975; Barazangi e Isacks, 1976; Hasegawa e Isacks, 1981; Bevis e Isacks, 1984; Boyd et al, 1984; Grange et al 1984; Schneider y Sacks, 1987; Cahill e Isacks, 1992; Suarez et al, 1996; Tavera, 1995; Tavera y Buforn, 1998^a; Tavera y Buforn, 1998^b.) o bien para delinear las zonas de mayor deformación superficial en el interior del continente (Dorbath et al 1986; Doser, 1987; Deverchere et al 1989; Dorbath et al 1990 a; Dorbath et al, 1991; Lindo, 1993; Suarez et al, 1996; Tavera y Buforn 1998^a, Tavera y Buforn 1998^b; Tavera, 1998).

Así, mismo, el análisis de la sismicidad histórica ha permitido evaluar la periodicidad de ocurrencia de terremotos de magnitud elevada a lo largo del territorio peruano (Kellerher, 1972; Dewey y Spence, 1979; Beck y Ruff, 1989; Dorbath et al 1990^b y delinear las regiones de mayor potencial sísmico (McCann et al, 1979; Nishenko, 1991).

A continuación se realiza una descripción de las características tectónicas y de la sismicidad historia e instrumental de Perú, y específicamente en el área del departamento de Huancavelica específicamente en la provincia de Tayacaja, donde se emplaza la carretera: Huancayo, Ayacucho, Tramo: Imperial – Pampas. Así mismo, se analiza los diferentes tipos de mecanismo focal asociados a sismos de magnitudes mayores a 4.0 grados, a fin de realizar una evaluación del estado actual de los esfuerzos presentes en el sector de emplazamiento del proyecto.

2.1.2.10.2. TECTÓNICA GENERAL

Las características de la Cordillera Andina, en el centro del país, es una evidencia del resultado del proceso de subducción de una placa oceánica bajo un geo-bloque

continental. La cordillera de los Andes se extiende a lo largo del continente sudamericano, desde Venezuela hasta el sur de Chile, con un ancho mínimo de 200 km. En la región Central de Perú y un máximo de 500 km. En el límite entre Perú y Chile (ver Figura 05).

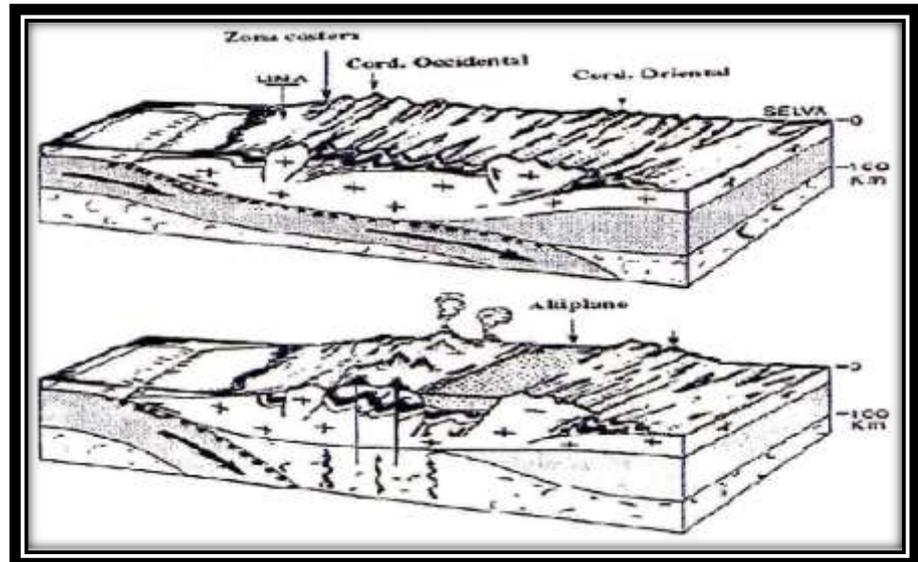


Figura 05. Esquema de las principales unidades estructurales resultado de la evolución de la cordillera andina

2.1.2.10.2.1. La Zona Costera (Z.C.)-

Zona estrecha de aproximadamente 40km. De ancho que se extiende de norte a sur y se encuentra constituida en su mayoría por suaves plegamientos volcánicos y rocas sedimentarias del Mesozoico. La zona sur está formada por basamentos de rocas cristalinas plegadas y sujetas a deformación desde el Precámbrico (ambas sin incidencia en el proyecto).

2.1.2.10.2.2. La Cordillera Occidental (C.O.C.)-

Es el batolito andino de mayor volumen que se extiende desde Venezuela hasta Tierra del Fuego en Chile. En el Perú se distribuye paralelo a la costa de norte a sur. La parte más elevada de esta cordillera (4200 – 4500 m),

está formada por series del Mesozoico, más o menos plegadas y cubiertas de manera heterogénea por unidades volcánicas del Cenozoico. El sector del país con mayor anchura es la región sur del Perú, en esta unidad se emplaza la carretera materia de estudio.

2.1.2.10.2.3. El Altiplano.-

Situado entre las Cordilleras Occidental y Oriental. En la región sur su anchura es de 200 km. Y se extiende hacia el norte hasta los 9°S, en donde alcanza un ancho de unos 50 km. Y después desaparece. Esta unidad está formada por una serie de cuencas intramontañosas del Cenozoico que se prolonga hacia el Altiplano, siendo la zona sur invadida por estructuras volcánicas activas del Paleógeno, esta unidad no incide en el área de emplazamiento de la carretera en estudio.

2.1.2.10.2.4. La Cordillera Oriental (C.O.R.)-

Menos elevada que la Cordillera Occidental (3700 – 4000 m.s.n.m.) y corresponde a un extenso anticlinal formado por depósitos recientes que cubren afloramientos de rocas intrusivas del Precámbrico. En la región sur, la Cordillera varía de dirección, hacia el E-W para luego continuar paralela a las otras unidades.

2.1.2.10.2.5. La Zona Subandina.-

Zona de anchura variable en donde se amortigua las estructuras andinas. Esta zona se localiza entre la Cordillera Andina y la Llanura Amazónica y está formada por una cobertura de sedimentos del Mesozoico y Cenozoico con pliegues de gran longitud de onda.

Estas unidades se han formado como resultado de una tectónica activa cuya principal fuente de energía radica en

el proceso de subducción de la placa oceánica bajo la continental. En las regiones norte y centro del Perú el proceso de subducción se realiza con un ángulo de 20° - 30° , hasta profundidades del orden de 100 km., a partir de la cual el contacto de placas es casi horizontal. En la región sur, el proceso de subducción se inicia con un ángulo de 30° constante hasta profundidades de 300km. Aproximadamente. Asimismo, se esquematiza la localización de las unidades estructurales descritas anteriormente (ver Figura 06).

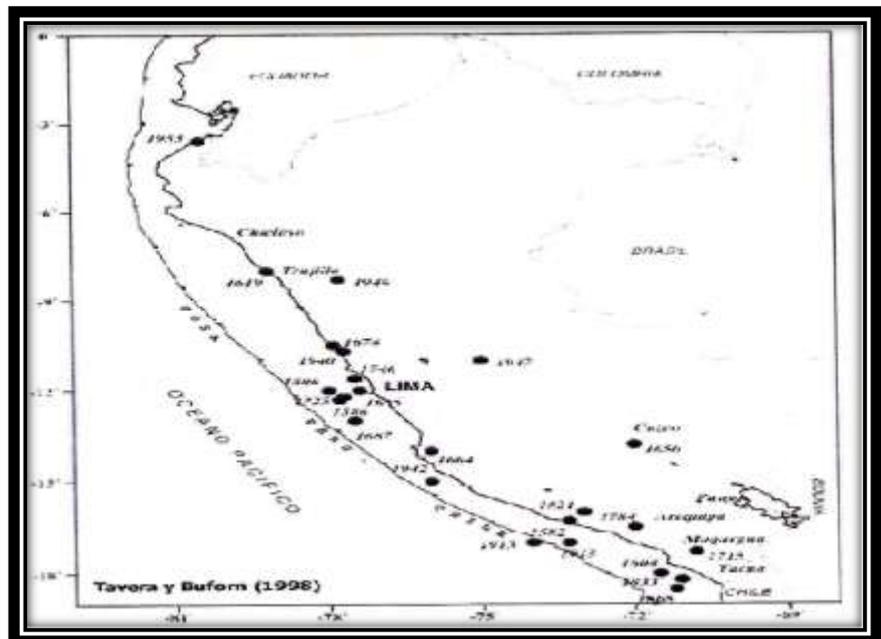


Figura 06. Terremotos con VIII MM para el periodo 1513 – 1959

2.1.2.10.3. CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS EN EL ÁREA QUE OCUPA EL PROYECTO

El instituto Geofísico del Perú (IGN) ha preparado un mapa de Perú, donde establece tres zonas de actividad sísmica (Zonas I, II y III). Por sus diferentes características de mayor a menor actividad sísmica, este mapa de Zonificación Sísmica, sirvió de base para la preparación de Normas

Técnicas de edificación E-030: Diseño sismo-resistente del Reglamento Nacional de Construcciones, aprobado con Resolución Ministerial N° 494-97 MTC/15.04, en Octubre 14 del 1997, más conocida como norma 1997.

Factores asignados a las zonas identificadas en el Mapa de zonificación sísmica (ver Tabla 07):

Tabla 07. Sismicidad en Huancavelica, Provincia de Tayacaja, le corresponde la Zona II.

ZONA I	0.15g
ZONA II	0.30g
ZONA III	0.40g

2.1.2.10.4. INTENSIDAD Y MAGNITUDES SÍSMICAS EN EL TERRENO QUE OCUPA EL PROYECTO.

Según el mapa de Intensidades Sísmicas, del Instituto Geofísico Nacional, el área que ocupa la carretera registra intensidades mayores de VII MM, que corresponde a sismos con profundidades mayores o iguales a 20 km. Por lo que se considera magnitud de 7.7 Mb, con un periodo de retorno cada 50 años.

2.1.2.10.5. EFECTOS DE LOS SISMOS EN EL ÁREA QUE OCUPA EL PROYECTO

Los sismos en la región tienen efectos que dependen de los factores siguientes:

- Topografía que presenta el terreno (pendientes).
- Estructura de la roca existente (fallas, fracturación, etc.).
- Naturaleza de los suelos (coluviales, aluvionales, grado de compactación).
- Características climatológicas (pluviometría, temperatura, etc.).

Los depósitos recientes son los más vulnerables a estos efectos, por las pendientes que presentan su grado de

cohesión o poco consolidados, son sensibles si se ubica en contacto con macizos rocosos, la refracción de las ondas sísmicas provocaría su inestabilidad por el nivel de las vibraciones; los suelos aluviales son los más inestables por derrumbes.

El área de estudio está considerada en la zona 2 de riesgo medio, con la posibilidad que ocurra sismos desde grado VI al grado VIII en la escala de Mercalli Modificada.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Definiciones conceptuales

2.2.1.1. Marco Teórico Fundamental

2.2.1.1.1. ASPECTOS TEÓRICOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (MAC)

DEFINICIÓN

Las mezclas asfálticas, es material que está formada por una combinación de agregados pétreos, ligante asfáltico y aditivos en algunos casos; de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua de este.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90% de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico.

Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento de la carpeta de rodadura y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

Existen tres métodos de diseño utilizados para determinar las proporciones adecuadas de asfalto y agregados. Ellos son el

Método Marshall, el Método Hveem y el Método SUPERPAVE.

CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

a) Por Fracción de agregado pétreo empleado.

- Masilla Asfáltica: Polvo mineral más cemento asfáltico.
- Mortero Asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto Asfáltico: Agregado grueso, agregado fino, polvo mineral y cemento asfáltico.
- Macadam Asfáltico: Capa de rodadura formada por una sucesión de capas de mezcla asfáltica con materiales pétreos de diferentes granulometrías, colocando las de mayor granulometría abajo, y arriba la de menor granulometría. Luego se procede a la compactación con rodos y camiones.

b) Por la Temperatura de puesta en obra.

- Mezcla Asfáltica en Caliente: El concreto asfáltico mezclado en planta y compactado en caliente, se compone de una mezcla de agregados graduados y asfalto, fabricado a una temperatura aproximada de 150°C colocada y compactada en caliente a una temperatura de 110 a 140°C. Las plantas para la producción de mezclas en caliente se construyen de tal manera que, después de secar y calentar los agregados, los separa en diferentes grupos de tamaños, los recombina en las proporciones adecuadas, los mezcla con la cantidad debida de asfalto caliente y finalmente los entrega a los vehículos transportadores, que a su vez la colocan en la maquina

pavimentadora para que esta la deposite sobre la vía con un espesor uniforme, después se compacta mediante rodillos mientras la temperatura se conserva dentro de los rangos de especificación.

- Mezclas Asfálticas en Frio: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfálticos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.
- Mezclas Asfálticas Tibias: Las Mezclas tibias se describen como aquellas que se producen a temperaturas menores que las mezclas en caliente, es decir entre 100°C y 135°C, su producción involucra nuevas tecnologías a partir de los cuales es posible producir y colocar los concretos asfálticos a temperatura sensiblemente inferiores a las técnicas convencionales. El concepto de mezcla bituminosa que ofreciera economía de energía y tuviera el mismo desempeño que las mezclas asfálticas en caliente.

c) Por la proporción de Vacíos en la Mezcla Asfáltica.

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- Las Mezclas Cerradas o Densas: contienen cantidades de agregados en proporciones adecuadas de todos los tamaños, de grueso a fino, incluyendo filler, proporcionados de tal forma de obtener una mezcla densa con pocos vacíos. La proporción de vacíos no supera el 5%. Mezclas densamente graduadas tienen un gran número de puntos de contacto entre las partículas, que pueden dar una alta resistencia friccional y reducir la posibilidad de trituración de las partículas en los puntos de contacto. Como el

contenido de vacíos es bajo son poco permeables. En las mezclas asfálticas en caliente, deben preferirse agregados con granulometría densa, o muy cercana a la densa.

- Mezclas Semi-Cerradas o Semi-Densas: La proporción de vacíos está entre el 5% y el 10%.
- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12%.
- Mezclas Porosas o Drenantes: Mezclas asfálticas utilizadas como carpeta de rodadura, que se caracteriza por tener un elevado porcentaje de huecos interconectados entre sí. Permitiendo el paso del agua a través de la mezcla y su rápida evacuación hacia las zonas laterales fuera de las calzadas. La proporción de vacíos es superior al 20%.

d) Por el Tamaño Máximo del Agregado Pétreo.

- Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10mm.
- Mezclas Finas: También llamadas micro aglomerado, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un agregado fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple de tamaño máximo.

e) Por la Estructura del Agregado Pétreo.

- Mezclas con Esqueleto Mineral: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que

genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.

- Mezclas sin Esqueleto Mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

f) Por la Granulometría.

- Mezclas Continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico (Zona comprendida entre dos curvas granulométricas).
- Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregados pétreo en el huso granulométrico.

EVOLUCIÓN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

A continuación se muestra la evolución de los métodos de diseños de mezclas asfálticas en caliente.

- The Hubbard-Field (1920's). Método de diseño de mezclas asfálticas, fue uno de los primeros métodos en evaluar contenidos de vacíos en la mezcla y en el agregado mineral. Usaba una estabilidad como prueba para medir la deformación. Funciono adecuadamente para evaluar mezclas con agregado pequeño o granulometrías finas, pero no también para mezclas con granulometrías que contenían agregados grandes.
- Método Marshall (1930's). Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado durante la 2da. Guerra Mundial y después fue adaptado para su uso en carreteras. Utiliza una estabilidad y porcentaje de vacíos como

pruebas fundamentalmente. Excepto cambios en las especificaciones, el método no ha sufrido modificación desde los años 40's.

- Método Hveem (1930's). Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado casi en el mismo tiempo que el método Marshall. Evalúa una estabilidad pseudo triaxial.
- Método de la Western Association of State Highway on Transportation Officials. WASHTO (1984). Este método de diseño de mezclas recomendó cambios en los requerimientos del material y especificaciones de diseño de mezclas para mejorar la Resistencia al ahuellamiento (efecto de deformación acumulada).
- Método de Asphalt Aggregate Mixture Analysis System. AAMAS (1987). La necesidad de cambios en el diseño de mezclas fue reconocida, tardaron 2 años para desarrollar un nuevo proyecto para el diseño de mezclas, que incluía un nuevo método de compactación en laboratorio y la evaluación de las propiedades volumétricas, desarrollo de pruebas para identificar las deformaciones permanentes grietas de fátiga y resistencia de grietas a baja temperatura.
- Método SUPERPAVE (1993). El método AAMAS, sirvió como punto de inicio del método SUPERPAVE, que contiene un nuevo diseño volumétrico completo de mezcla con funcionamiento basado en predicción a través de modelos y métodos de ensayo en laboratorio, grietas por fatiga y grietas por baja temperatura. Los modelos de predicción de funcionamiento fueron completados satisfactoriamente hasta el año 2000. El diseño volumétrico de mezclas en el SUPERPAVE es actualmente implementado en varios estados de los EUA, debido a que ha sido reconocida una conexión

entre las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica caliente y su correcto funcionamiento. Ahora la aceptación en el control de calidad ha sido cambiada a propiedades volumétricas. SUPERPAVE promete un funcionamiento basado en métodos o ensayos de laboratorio que pueden ser usados para identificar la resistencia a las deformaciones plásticas de los pavimentos.

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

La mezcla asfáltica en caliente preparada en laboratorio debe ser analizada para determinar el desempeño posible en la estructura del pavimento.

Determinado así, características principales y la influencia que estas tienen en el comportamiento de la mezcla.

- Densidad

Está definida como su peso unitario, es decir, el peso de un volumen específico de la mezcla compactada. La densidad es una característica importante para obtener un rendimiento duradero. Si la densidad es baja la cantidad de vacíos son mayores, por lo tanto, la mezcla compactada será vulnerable al agua. Si la densidad es alta la cantidad de vacíos es menor, el agua no entrará en su interior obteniéndose de esta manera una carpeta de rodadura más durable. La densidad de la muestra compactada se expresa en kilogramos por metro cubico (kg/m^3) o libras por pie cubico (lb/pe^3), es calculada al multiplicar la gravedad especifica total de la mezcla por la densidad del agua ($1,000 \text{ kg/m}^3$ o 62.416 lb/pe^3). La densidad patrón obtenida en laboratorio se utiliza como referencia para determinar el grado de compactación del pavimento compactado en la obra es adecuada o no.

Difícilmente en la compactación in-situ se obtiene la densidad patrón, por lo tanto las especificaciones permiten un porcentaje aceptable.

– Vacíos de Aire

Están presentes entre los agregados revestidos de asfalto en la mezcla compactada y son pequeños espacios de aire, o bolsas de aire. Es de mucha importancia que las mezclas densamente graduadas contengan determinado porcentaje de vacíos, ya que estos permiten que el asfalto fluya durante la compactación adicional debido al tráfico. El porcentaje, en muestras elaboradas en laboratorio, para capas de base y capas superficiales debe estar entre 2% y 4%. La permeabilidad de una mezcla asfáltica tiene relación con la durabilidad de un pavimento asfáltico. A mayor permeabilidad, mayor contenido de vacíos; permitiendo pasajes a través de la mezcla del agua y el aire causando un deterioro irreversible a la carpeta asfáltica. Por otra parte un contenido muy bajo de permeabilidad, es decir bajo contenido de vacíos, tiende a producir exudación de asfalto. La exudación consiste en que el exceso de asfalto es exprimido, o expulsado fuera de la mezcla hacia la superficie. La relación de la densidad y el contenido de vacíos demuestra que a mayor densidad, menor porcentaje de vacíos y a menor densidad, mayor porcentaje de vacíos en la mezcla. En campo las especificaciones para la densidad requieren acomodar el menor número posible de vacíos inferior al 4%.

– Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)

Estos son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado y los espacios que están llenos de asfalto en una mezcla asfáltica compactada de pavimentación. Es decir el VMA es el espacio disponible

para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla. El volumen efectivo de asfalto es todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado. Si el VMA es mayor, existirá más espacio para la película de asfalto. Hay que tener en cuenta que entre más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado se obtiene mayor durabilidad de una mezcla. Por lo anteriormente descrito existen valores mínimos de VMA recomendados y especificados en función del tamaño del agregado. Puede resultar que para economizar el contenido de asfalto en un diseño de mezcla disminuyamos los valores de VMA establecidos como mínimos, siendo esto completamente perjudicial y dañino para la calidad de la carpeta asfáltica, obteniéndose películas delgadas de asfalto en el agregado y una mezcla de baja durabilidad y apariencia seca.

– Contenido de Asfalto

El contenido de asfalto de una mezcla en particular es establecido usando los criterios descritos por el método de diseño seleccionado. El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende en una gran cantidad de su granulometría y la capacidad de absorción del agregado. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Si en una granulometría el porcentaje de finos es considerablemente alto, el área superficial total será mayor, requiriendo así mayor cantidad de asfalto para cubrir todas las partículas. Las mezclas gruesas exigen menos asfalto debido a que el área superficial total es menor. Si a la mezcla se le agrega pequeños incrementos de filler (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (No. 200)) existe una tendencia a absorber la mayor parte del

contenido de asfalto, resultando una mezcla inestable y seca. Caso contrario al efectuar pequeñas disminuciones de filler nos da como resultado una mezcla muy rica (húmeda) (ver Figura 07).

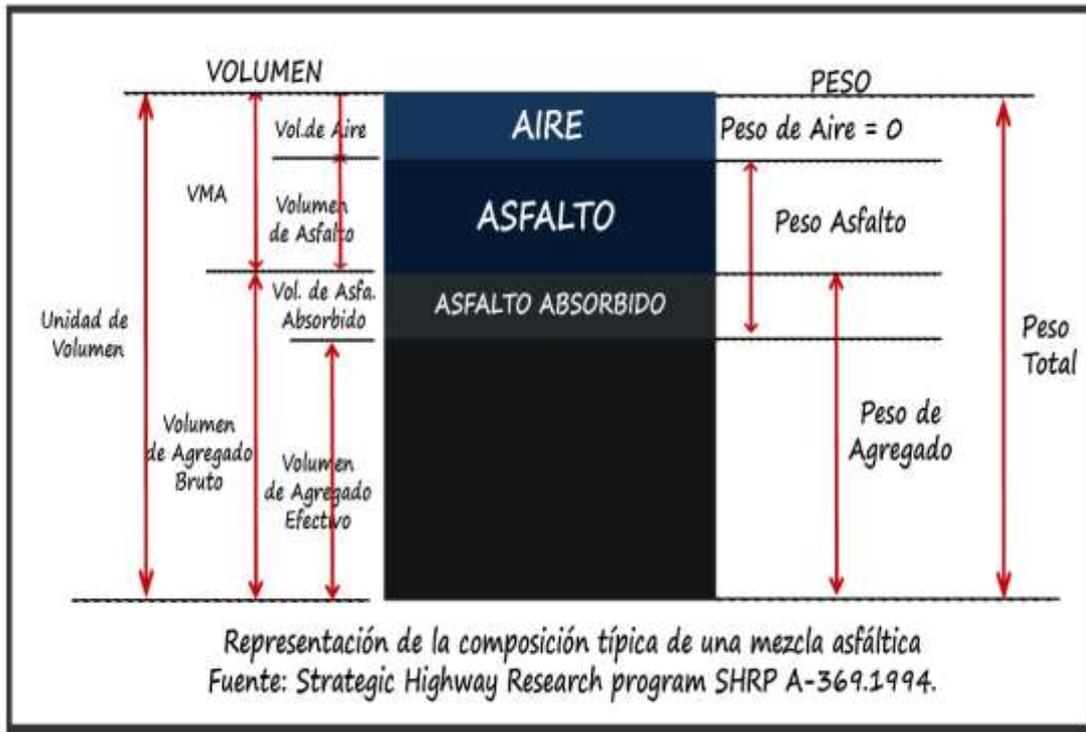


Figura 07. Representación de la Composición Típica de una Mezcla Asfáltica.

Es así que los incrementos o disminuciones de filler causan cambios en las propiedades de la mezcla, llegando a variar de seca a húmeda. La capacidad de absorción del agregado en una mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Técnicamente se habla de dos tipos de asfalto al referirse al asfalto absorbido y el no-absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto. El contenido total de asfalto; cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto: volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la

cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto. La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla.

– 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, y por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA y expresando su valor como un porcentaje.

PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Para obtener una mezcla de calidad, esta debe poseer las propiedades siguientes: Estabilidad, Durabilidad, Flexibilidad, Resistencia a la Fatiga, Resistencia al Deslizamiento, Impermeabilidad y Trabajabilidad.

– Estabilidad

Es la capacidad de una mezcla asfáltica de resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas impuestas por el tránsito. La carpeta asfáltica debe ser capaz de mantener su forma y textura ante las secuencias de carga que a diario le son impuestas. La fricción interna depende de la textura superficial, graduación del agregado, forma de la partícula, densidad de la mezcla, y, del contenido y tipo de asfalto. La estabilidad es función de la fricción y la resistencia inter-bloqueada del agregado en la mezcla. Cuando sobrepasamos el nivel óptimo de asfalto la película es demasiado gruesa y esto genera que la cohesión

decrezca, resultando en pérdida de fricción entre las partículas que componen la mezcla asfáltica. Es importante que las partículas que componen el agregado sean angulares y ásperas en su textura superficial, esto dará una alta estabilidad a la mezcla.

Problemas clásicos debido a una estabilidad baja:

- Ahuellamiento:

Consiste en una depresión continua a lo largo de la capa de rodadura. Las cargas repetitivas de tránsito conduce a deformar permanentemente cualquier capa de componen la estructura del pavimento, sin embargo cuando la carpeta asfáltica recién colocada presenta ahuellamiento es debido al exceso de asfalto en la mezcla, es decir el óptimo de asfalto se ha sobrepasado y genera por consiguiente pérdida de cohesión.

El ahuellamiento también es producido por la forma redondeada de la partícula, por la falta de textura áspera, falta de adherencia y absorción del agregado. Es decir, si una mezcla tiene un contenido óptimo de asfalto y sus agregados no cumplen con las siguientes propiedades tales como: graduación, limpieza, dureza, textura superficial, capacidad de absorción, afinidad con el asfalto, peso específico, también nos generará ahuellamiento y una serie de problemas que desarrollaremos en este capítulo (ver Figura 08).



Figura 08. Ahuellamiento

- Corrimiento:

Desplazamiento de la mezcla asfáltica provocando distorsiones en la superficie de la carpeta asfáltica. Acompañado a veces por levantamiento de material formado “cordones” principalmente laterales. Estos desplazamientos son ocasionados por las cargas de tránsito y son debido al exceso de asfalto, falta de vacíos o bien por falta de confinamiento lateral. La corrugación son una serie de ondulaciones constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del tránsito, siendo próximas unas de otras, por lo general menores a 1.0 mts entre ellas (ver Figura 09).



Figura 09. Corrimiento

- Exudación del Asfalto:

Es el afloramiento del asfalto o ligante asfáltico hacia la superficie de la carpeta asfáltica, formando una película continua de ligante, creando una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa durante las altas temperaturas.

Es causada por un excesivo contenido de asfalto. Ocurre en mezclas con un porcentaje de vacíos deficientes, durante épocas calurosas. Dado que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumula en la superficie (ver Figura 10).



Figura 10. Exudación

– Durabilidad

Es la propiedad de una mezcla asfáltica para resistir los efectos perjudiciales causados por el agua, aire, temperaturas y las cargas debidas al tráfico. Estos efectos perjudiciales provocan desintegración del agregado, cambio en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación), envejecimiento, segregación, etc. (ver Tabla 8).

Puede mejorarse la durabilidad de una mezcla asfáltica de tres maneras:

– Utilizando un contenido óptimo de asfalto:

Se aumenta la durabilidad de la mezcla, ya que las partículas del agregado están cubiertas por una película gruesa de asfalto. Esto evita el envejecimiento y el endurecimiento del asfalto, reteniendo por más tiempo las características originales tanto del asfalto como de los agregados.

- Utilizando una graduación densa:

Esto proporciona un contacto más cercano entre las partículas de agregado, mejorando así la impermeabilidad de la mezcla.

- Diseñar y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad:

Esto se logra mediante la compactación por medios mecánicos utilizando maquinaria y equipo adecuado.

Tabla 8. Causa – Efecto en la Carpeta Asfáltica

Causas	Efecto en la Carpeta
Bajo Contenido de Asfalto	Endurecimiento rapido del asfalto y desintegracion por pérdida de agregado
Alto Contenido de Vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegracion
Agregado Susceptibles al agua (hidrofilitos)	Película de asfalto se desprende del agregado dejando una carpeta de rodadura desgastada o desintegrada

- Flexibilidad

Es la capacidad de la carpeta asfáltica para acomodarse ligeramente, sin sufrir agrietamiento, soportando los movimientos graduales y asentamientos de la base y sub-base. Los asentamientos en el pavimento pueden ocurrir debido a que falle cualquiera de sus componentes. Provocando daños visibles en la carpeta de rodadura. De hecho, todas las estructuras tienden a tener asentamientos diferenciales. La flexibilidad de las mezclas asfálticas es incrementada agregando mayor contenido de asfalto, hasta llegar al contenido óptimo, a partir de este, si se aumenta en exceso el contenido de asfalto la carpeta tiende a ser extremadamente flexible y provoca entonces una mezcla

con estabilidad baja. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos. Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es generalmente más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto.

– Resistencia a la Fatiga

Es la capacidad de un pavimento asfáltico para resistir flexión repetida causada por las cargas de tránsito. Si el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye. Por tal razón, las mezclas asfálticas de graduación densa presentan mayor resistencia a la fatiga que las mezclas asfálticas de graduaciones abiertas. El envejecimiento y endurecimiento del asfalto en la carpeta de rodadura da como resultado menor resistencia a la fatiga. Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la sub-rasante, influyen determinadamente en la vida útil de una carpeta de rodadura asfáltica. Si la carpeta asfáltica presente buena resistencia a la fatiga y la sub-base está mal compactada, se verán claramente los asentamientos y la resistencia a la fatiga disminuye considerablemente. Caso contrario si la sub-base está bien compactada y la carpeta asfáltica presenta mala resistencia a la fatiga la carpeta se dañará. Por lo anterior, el pavimento debe trabajar en conjunto para que pueda resistir la flexión causada por el tránsito.

Daños visibles debido a una mala resistencia a la fatiga:

– Peladura:

Desintegración superficial de la carpeta asfáltica como consecuencia de la pérdida de ligante bituminoso y del desprendimiento del agregado pétreo, aumentando la textura del pavimento y exponiendo cada vez más los agregados a la acción del tránsito y clima.

Esta anomalía es indicativo que el asfalto se ha endurecido apreciablemente, perdiendo sus propiedades ligante, o bien que la mezcla asfáltica existente es de deficiente calidad, ya sea por un contenido de asfalto insuficiente, empleo de agregados sucios o muy absorbentes, como también por deficiencias durante la construcción, especialmente en tratamientos superficiales bituminosos; frecuentemente se presenta como un desprendimiento de agregados en forma de estrías longitudinales, paralelas a la dirección del riego. El desprendimiento puede ser originado también en un proceso de descubrimiento por pérdida de adherencia entre el agregado y el asfalto, cuando actúan agentes agresivos tales como solventes y otros derivados del petróleo, e inclusive, la acción del agua (pluvial) (ver Figura 11).



Figura 11. Peladura

– Fisura Transversal:

Fracturación de longitud variable que se extiende a través de la superficie de la carpeta asfáltica, formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera. Puede afectar todo el ancho del carril como limitarse a los 0.60 m. próximos al borde lateral de la carpeta de rodadura. La contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, es decir si una carpeta asfáltica no tiene la capacidad de flexionar repetitivamente la resistencia a la fatiga es menor o nula. Puede ser ocasionado por un exceso de filler, envejecimiento asfáltico, etc. Particularmente ante la baja temperatura y gradientes térmicos importantes (ver Figura 12).



Figura 12. Fisura Transversal

– Fisura en Bloque:

Serie de fisuras interconectadas formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm., con un área variable de 0.10 a 9.0 m². Se presenta generalmente en una gran área de la carpeta asfáltica y algunas veces ocurren solamente en las áreas no afectadas por el tráfico. Son causadas principalmente por la contracción de las mezclas asfálticas debido a las variaciones diarias de temperatura. A menudo es difícil constatar si las fisuras y grietas son debido a contracciones producidas en la carpeta asfáltica o en la base y sub-base. La presencia de fisuras en bloques generalmente es indicativo de que el asfalto se ha endurecido significativamente (ver Figura13).



Figura 13. Fisura en Bloque

– Fisura Piel de Cocodrilo:

Serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con un diámetro promedio menor a 30 cm. El fisuramiento empieza en la parte inferior de la carpeta asfáltica, donde las tensiones y deformaciones por tracción alcanzan su valor máximo, cuando el pavimento es solicitado por una carga.

Las fisuras se propagan a la superficie, inicialmente, como una serie de fisuras longitudinales paralelas; luego por efecto de la repetición de, evolucionan interconectándose y formando una malla cerrada, que asemeja el cuero de un cocodrilo. Ocurren necesariamente en áreas sometidas al tránsito, como las huellas de canalización del tránsito. Por lo general, el fisuramiento indica que el pavimento ya no tiene capacidad estructural de sostener las cargas de tránsito y ha llegado al fin de su vida útil. El ligante por lo general ha

envejecido y por ende ha perdido la flexibilidad de sostener cargas repetidas al tránsito sin agrietarse (ver Figura 14).



Figura 14. Fisura de Piel de Cocodrilo

– Resistencia al Deslizamiento:

Es la habilidad de una carpeta asfáltica, particularmente cuando esta mojada, de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos. Esto implica que el neumático debe mantenerse en contacto con las partículas del agregado y no sobre una película de agua en la superficie del pavimento, conocido como hidroplaneo. Una buena resistencia al deslizamiento lo contribuyen agregados con textura áspera y contenido adecuado de asfalto.

Los contenidos altos de asfalto producen mezclas inestables las cuales tienden a deformarse y exudar, generando así, mayor deslizamiento (ver Tabla 9).

Tabla 9. Causa – Efecto en la Carpeta Asfáltica

Causas	Efectos en la Carpeta
Exceso de Asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Carpeta asfáltica lisa, posibilidad de hidroneo
Agregado canto rodado, textura lisa	Poca Resistencia al deslizamiento

– Impermeabilidad:

Es la resistencia de una carpeta asfáltica al paso del aire y agua hacia su interior o a través de él. El contenido de vacíos puede ser una indicación a la susceptibilidad de una mezcla compactada al paso del agua y aire (ver Tabla 10).

Tabla 10. Causa – Efecto en la Carpeta Asfáltica

Causas	Efectos en la Carpeta
Bajo Contenido de Asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán, tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto Contenido de Vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en la carpeta asfáltica, causando oxidación y desintegración de la mezcla
Compactación Inadecuada	Resultará en vacíos altos en la carpeta asfáltica, lo cual conducirá a infiltración de agua y baja estabilidad

– Trabajabilidad:

Es la facilidad con la cual una mezcla asfáltica puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto

porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar.

El asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tiene algún efecto sobre esta propiedad (ver Tabla 11).

Tabla 11. Causa – Efecto en la Carpeta Asfáltica

Causas	Efectos en la Carpeta
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de compactar
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable, superficie áspera, difícil de compactar
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable

Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

2.2.1.2. Marco Teórico Específico

2.2.1.2.1. MÉTODO MARSHALL

ANTECEDENTES

El concepto del método Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall, exingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi.

El Ensayo Marshall, surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Varios métodos para el diseño y control de mezclas asfálticas fueron comparados y evaluados para desarrollar un método simple.

Dicho cuerpo de ingenieros decidió adoptar el método Marshall, y desarrollarlo y adaptarlo para diseño y control de mezclas de pavimentos bituminosos en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de prueba de tránsito, y de estudios de correlación, en el laboratorio, el Cuerpo de Ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del Ensayo Marshall, y posteriormente desarrollo criterios de diseño de mezcla.

PROPÓSITO DE LA METODOLOGÍA MARSHALL

El propósito 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.

El método Marshall, solo se aplica a mezclas asfálticas en caliente que contengan 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 pavimentos.

DESCRIPCIÓN GENERAL

El método Marshall usa muestras normalizadas de prueba (probetas) de 64mm (2 ½") de espesor por 102mm (4") de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes contenidos de asfaltos, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas.

Los dos datos más importantes de diseño de mezclas del Método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior). Las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica. La siguiente grafica presenta los tamaños máximos nominales más utilizados, así como sus líneas de control de acuerdo con la ASTM D3515 (ver Tabla 12).

Tabla 12. Huso Granulometría según Tamaño Máximo Nominal del Agregado

Aberturas de los Tamices	Mezclas Cerradas								
	Tamaño Máximo Nominal del Agregado								
	2 pulg. (50.0mm)	1 ½ pulg. (37.5mm)	1 pulg. (25.0mm)	¾ pulg. (19.0mm)	½ pulg. (12.5mm)	3/8 pulg. (9.5mm)	No. 4 (4.75mm)	No. 8 (2.36mm)	No. 16 (1.18mm)
	Gradaciones para Mezclas de Agregados (Grueso, Fino y Filler)								
2 ½" (63 mm.)	100	----	----	----	----	----	----	----	----
2" (50 mm.)	90-100	100	----	----	----	----	----	----	----
1 ½" (37.5 mm.)	----	90-100	100	----	----	----	----	----	----
1" (25.0 mm.)	60-80	----	90-100	100	----	----	----	----	----
¾" (19.0 mm.)	----	56-80	----	90-100	100	----	----	----	----
½" (12.5 mm.)	35-65	----	56-80	----	90-100	100	----	----	----
3/8" (9.5 mm.)	----	----	----	----	----	90-100	100	----	----
No. 4 (4.75 mm.)	14-47	23-83	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100	----	----
No. 8 (2.36 mm.)	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100	----	100
No. 16 (1.18 mm.)	----	----	----	----	----	----	40-80	----	95-100
No. 30 (600µm)	----	----	----	----	----	----	35-65	----	70-95
No. 50 (300µm)	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40	----	45-75
No. 100 (150µm)	----	----	----	----	----	----	3-20	----	20-40
No. 200 (75µm)	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10	----	9-20
	Asfalto, Porcentaje con respecto al Peso Total de la Mezcla								
	2-7	3-8	3-9	4-10	4-11	5-12	6-12	7-12	8-12

ESPECIFICACIONES DE LA METODOLOGÍA

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 7%. El rango de vacíos de aire es de 2% al 4%. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas. Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla (ver Tabla 13 y 14).

Tabla 13. Criterios del Instituto del Asfalto para Diseño Marshall

CRITERIOS PARA MEZCLA DEL	TRANSITO LIVIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO MEDIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO PESADO CARPETA Y BASE	
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta	35	35	50	50	75	75
Estabilidad N(lb)	336 (750)	-	5358 (1200)	-	8006 (1800)	-
Flujo, 0.25 mm. (0.01 pulg.)	8	18	8	16	8	14
% de Vacíos	3	5	3	5	3	5
% VFA	70	80	65	78	65	75

Tabla 14. Porcentaje Mínimo de VMA

TAMAÑO MÁXIMO EN MM		VMA MÍNIMO, POR CIENTO		
PORCENTAJE		Vacíos de Diseño, por Ciento *		
mm	pulg.	3.0	4.0	5.0
1.18	Nº. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19	20	21
4.75	No. 4	16	17	18
9.5	3/8	14	15	16
12.5	1/2	13	14	15
19.0	3/4	12	13	14
25.0	1.0	11	12	13
37.5	1.5	10	11	12
50.0	2.0	9.5	10.5	11.5
63.0	2.5	9	10	11

* Interpole el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están listados.

PREPARACIÓN PARA EFECTUAR LOS PROCEDIMIENTOS MARSHALL AASHTO T-245

Diferentes agregados y asfaltos presentan diferentes características. Estas características tienen un impacto sobre la naturaleza misma del pavimento. El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al

deslizamiento, etc.) que debe tener la mezcla de pavimentación, y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades. Una vez efectuado lo anterior, se procede con la preparación de los ensayos.

SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE MATERIAL

La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras del asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla de pavimentación. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregados. La razón es simple: los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determinan la fórmula para la mezcla de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final.

Una amplia variedad de problemas graves, que van desde una mala trabajabilidad de la mezcla 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.

a) MATERIALES PÉTREOS

- IMPORTANCIA DEL AGREGADO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA

En el diseño de una mezcla asfáltica en caliente intervienen dos materiales indispensables que son los agregados pétreos y el asfalto que para nuestro caso se usará asfalto de tipo PEN 85-100 o PEN120-150 según el comportamiento mecánico; los agregados por su parte son de gran importancia ya que en una mezcla asfáltica constituyen entre el 90 y el 95 por ciento en

peso, y entre el 75 y 85 por ciento en volumen; es de mencionar que la calidad de la mezcla asfáltica depende de la calidad de los materiales constituyentes y la capacidad de carga de la carpeta es proporcionada esencialmente por los agregados, de esto se deriva la importancia de una adecuada selección y manejo de los materiales pétreos que serán utilizados para elaborar una mezcla asfáltica, específicamente en lo que se refiere a una Buena distribución granulométrica. Una pequeña variación en el porcentaje de un determinado tamaño de agregado o en las propiedades de éste puede causar cambios significativos en las propiedades de la mezcla elaborada por lo tanto es necesario llevar un control eficiente de los agregados que se está usando en la planta de producción de mezcla lo cual puede comprender:

- a) Control de calidad del agregado que se produce en la planta trituradora.
- b) Acopio de agregados.
- c) Alimentación en frío de agregados.

El control de la calidad del agregado usado es un factor crítico en el comportamiento de una carpeta de concreto asfáltico, sin embargo, además de la calidad se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un Agregado en una obra de pavimentación, estos criterios incluyen el costo, la disponibilidad del agregado su origen y además, deberá cumplir con ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para concreto asfáltico de buena calidad.

- DEFINICIÓN DE AGREGADOS

Los agregados pétreos son materiales granulares sólidos inertes, usados para ser mezclado en diferentes tamaños de partículas graduadas, como parte de una mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen la arena, la grava, la escoria de alto horno, o la roca triturada y polvo de roca. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad soportante.

- TIPOS DE AGREGADOS

El tipo de agregado pétreo se puede determinar, de acuerdo a la procedencia y a la técnica empleada para su aprovechamiento, se pueden clasificar en los siguientes tipos:

a) Agregados Naturales.

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento.

b) Agregados de Trituración.

Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales de canteras cuyas propiedades físicas sean adecuadas.

c) Agregados Artificiales.

Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables.

d) Agregados Marginales.

Los agregados marginales engloban a todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes.

- CONCEPTOS MÁS FRECUENTES RELACIONADOS A LOS AGREGADOS.

a) Agregado Grueso: Agregado que pasa el tamiz de 3" y queda retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4)

b) Agregado Fino: Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y queda retenido en el tamiz de 75 μ m (No. 200)

c) Polvo Mineral: La porción de agregado fino que pasa el tamiz 75 μ m (No.200)

d) Relleno Mineral: Producto mineral finamente dividido en donde más del 70% pasa el tamiz de 75 μ m (No. 200).

e) Agregado de Graduación Gruesa: Agregado cuya graduación es continúa desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños gruesos.

f) Agregado de Graduación Fina: Agregado cuya graduación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños finos.

g) Agregado Densamente Graduado: Agregado con una distribución de tamaños de partícula,

tal que cuando es compactado, los vacíos que resultan entre las partículas expresados como un porcentaje del espacio total ocupado, son relativamente pequeños.

- h) Agregado de Graduación Abierta: Agregado que contiene poco o ningún llenante mineral, y donde los espacios de vacíos en el agregado compactado son relativamente grandes.
- i) Agregado Bien Graduado: Agregado cuya graduación va desde el tamaño máximo hasta el de una llenante mineral con el objeto de obtener una mezcla bituminosa con un contenido de vacíos controlado y alta estabilidad.

- CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS

Clasificación según el tipo de formación de las rocas

Las rocas se dividen en tres tipos generales:

a) Rocas Sedimentarias

Las rocas sedimentarias se han formado por la acumulación de sedimentos en el agua o depositados por el viento. El sedimento puede estar constituido por rocas y fragmentos o partículas minerales de varios tamaños (conglomerado, arenisca, pizarra); de restos o de productos animales o plantas (ciertas piedras calizas y hulla); del producto de la acción química o de la evaporación (sal yeso); o de mezclas de estos materiales. Algunos depósitos sedimentarios están constituidos por partículas despedidas por volcanes y

depositadas en la tierra o en el agua. Un aspecto característico de depósitos sedimentarios es el de tener una estructura en capas. Esta estratificación es el resultado directo del sistema de formación; la deposición del material en el lecho del mar o un lago

b) Rocas ígneas

Las rocas ígneas están formados por el enfriamiento y solidificación de material caliente fundido (magma) despedido por erupción desde el interior de la corteza terrestre o que ha quedado atrapado dentro de ella. Se dividen en rocas extrusivas e intrusivas. Las primeras fueron formadas por la eclosión y posterior deposición de materiales sobre la superficie de la tierra, tales como la producida por la acción volcánica, y se distinguen en general, por su estructura vidriosa (riolita, andesita, basalto etc.). Las segundas fueron formadas por el enfriamiento y solidificación a grandes profundidades dentro de la corteza terrestre. Son de textura totalmente cristalina (granito, diorita, gabro, etc.). Aunque originalmente fueron formados dentro de la corteza terrestre, están en el presente frecuentemente expuestas a movimientos terrestres y a erosión.

c) Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas están por lo general formadas por la modificación de rocas sedimentarias e ígneas como resultado de presiones intensas debidas a movimientos

terrestres y por calor excesivo o disoluciones. Los factores que causan tal modificación son complejos y la forma original de la roca alterada es difícil de determinar. Un aspecto distintivo de las rocas metamórficas es el de tener sus caras paralelas en las cuales se disponen los minerales que forman la roca. Esta disposición se denomina exfoliación. Estos planos constituyen zonas de debilidad a lo largo de las cuales las rocas pueden ser partidas mucho más fácilmente que en otras direcciones. Los ejemplos de rocas esfoliadas son los gneiss y los esquistos (material ígneo alterado) y la pizarra procedente de la lutita alterada. El mármol (piedra caliza alterada) y la cuarcita procedente de la arenisca son tipos comunes de rocas metamórficas de textura masiva, por lo común sin exfoliación.

- CLASIFICACIÓN Y PRODUCCIÓN DE AGREGADOS

Clasificación de los Agregados

Los agregados usados en pavimento asfáltico se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen. Estos incluyen: agregados naturales, agregados procesados, y agregados sintéticos o artificiales.

a) Agregados naturales

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales

de erosión y degradación, tales como la acción del viento, el agua, y los químicos. La forma de las partículas individuales es un producto, a la larga, de los agentes que actúan sobre ellas. Así mismo, las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas. Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimento Son la grava y la arena. Las gravas y las arenas son clasificadas, además, de acuerdo a su origen. Los materiales producidos en canteras abiertas y usados sin ningún procesamiento adicional son conocidos como materiales en bruto, y los materiales tomados de la ribera de los ríos son conocidos como materiales de canteras de ríos.

Los depósitos de gravas varían ampliamente en composición, pero usualmente contienen alguna cantidad de arena y limo. Los depósitos de arena también contienen, comúnmente, alguna cantidad de arcilla y limo, mientras que las arenas de río contienen proporciones grandes de grava, limo y arcilla.

b) Agregados procesados

Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que son extraídas de canteras y que deben ser reducidas en tamaño en las plantas trituradoras, antes de ser usados en la pavimentación; de la calidad de las rocas que se

explotan en las canteras dependerá la calidad de los agregados procesados y dispuestos para ser utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente. La roca es triturada por tres razones:

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

El propósito principal de la trituración, en el caso de los fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes, es reducir las piedras a un tamaño que sea manejable. Sin embargo, los cambios en la textura superficial, y en la forma de las partículas, son también muy importantes.

El tamizado de los materiales, después de triturarlos, resulta en una granulometría con cierto rango de tamaño de partícula. Un factor importante en la construcción de pavimentos de buena calidad consiste en mantener graduaciones específicas de agregados. Sin embargo, por razones económicas, el material triturado es usado tal y como sale del triturador, con muy poco o ningún tamizado. Un control adecuado de las operaciones de triturado determina si la graduación resultante del agregado cumple, o no, con los requisitos de la obra. El agregado triturado, sin tamizar, es conocido como agregado triturado sin cribar, y es usado satisfactoriamente en muchos proyectos de construcción de pavimento. Sin embargo, es esencial garantizar que la operación de triturado sea

continuamente supervisada para poder producir un agregado que cumpla con las especificaciones. El triturado de algunos tipos de roca, como las calizas, produce cantidades substanciales de pequeños fragmentos y partículas. Esta fracción de material es separada de las partículas que tienen diámetros iguales o mayores 6.35 mm (1/4 pulgada), casi siempre, y usada como agregado de arena triturada, o procesada hasta tamaños máximos de 0.60 mm (No. 30).

c) Agregados sintéticos

Los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales. El producto secundario más comúnmente usado es la escoria de alto horno. Es una sustancia no metálica que brota a la superficie del hierro fundido durante el proceso de reducción. Una vez que es removida de la superficie del hierro, la escoria es transformada en pequeñas partículas al templarla inmediatamente en agua, o al triturarla una vez que se ha enfriado. Los agregados sintéticos manufacturados son relativamente nuevos en la industria de la pavimentación. Ellos son producidos al quemar arcilla, arcilla esquistosa, tierra diatomácea procesada, vidrio volcánico, escoria, y otros materiales. Los productos finales son típicamente livianos y tienen una resistencia muy alta al desgaste. Los agregados sintéticos han sido usados en la pavimentación de cubiertas de puentes y

cubiertas de techos, así como en capas superficiales de pavimento donde se requiere la máxima resistencia al deslizamiento.

- PRODUCCIÓN DE AGREGADOS

Cuando se trate de arenas o gravas, se deberá tener un cuidado especial al remover el suelo de destape (suelo que cubre el depósito) para no contaminar el agregado. Esto es particularmente importante cuando el suelo de destape (o descapote) contiene arcilla, vegetación, o algún otro material que pueda afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento. Puede que algún material de destape proporcione un relleno mineral aceptable; sin embargo, rara vez este material podrá producir una mezcla de agregado con la adecuada proporción de relleno mineral si tan solo se añade al depósito de agregado a medida que este es removido. En consecuencia, cualquier material de destape que sea adecuado para ser usado como relleno mineral deberá ser removido del depósito, tamizado, y añadido posteriormente al agregado ya procesado. Este método permite un control cuidadoso, en la mezcla final, del contenido de relleno mineral. Con cierta frecuencia, las operaciones en las excavaciones y canteras deben efectuarse alrededor de lentes de arcilla (depósitos en forma de lente), vetas (capas) de arcilla esquistosa y otros depósitos de materiales indeseables que forman parte del depósito de agregado. En este caso la excavación del agregado puede tener que efectuarse a lo largo de un marco (nivel) horizontal, o de abajo hacia arriba sobre una cara vertical del depósito, para evitar contaminación del agregado y poder garantizar una graduación uniforme.

Después del triturado y el tamizado es esencial evaluar completamente los agregados producidos para averiguar si cumplen con los requisitos de calidad y graduación. En instalaciones comerciales donde la producción de agregado es más o menos continua a través de la temporada de pavimentación, es suficiente llevar a cabo una o dos evaluaciones de calidad cada temporada. Cuando una operación está comenzando por primera vez, se deberán hacer evaluaciones periódicas del agregado antes de que este sea usado en las mezclas de pavimentación.

- ACOPIO Y MANEJO DE AGREGADOS

GENERALIDADES

Los procedimientos para manejar y acopiar las reservas de agregado varían de obra en obra, debido a que la mayoría de los contratantes no tienen claras las especificaciones para dichos procedimientos. En vez de ello el dueño del proyecto requiere, usualmente, que el contratista cumpla con las especificaciones de graduación para el agregado. Estas especificaciones tendrán que ser cumplidas ya sea durante la elaboración o acopio de reservas del agregado, o cuando la mezcla de pavimentación sea producida y colocada. En cualquier caso, el constructor deberá estar al tanto de cómo las prácticas de manejo y acopio de reservas tanto buenas y malas afectan la selección del agregado.

El muestreo y los ensayos son los únicos medios para verificar si las especificaciones están siendo cumplidas, aún si estas requieren que el agregado cumpla con graduaciones durante la fabricación, acopio de reservas o producción de mezcla. Para

garantizar que las muestras seleccionadas sean representativas, se deben seguir ciertos procedimientos de muestreo, indicados en el Ensayo “Muestreo de Agregados” AASHTO T 2-91 (2000) y su equivalente ASTM D 75-87 (1992).

ACOPIO DE AGREGADO

Para producir mezclas asfálticas en caliente de alta calidad es esencial tener buenos procedimientos de acopio de reservas. Los agregados retienen su graduación si son adecuadamente acopiados. Cuando el acopio es malo, las partículas de agregado se segregan (separan por tamaño), y la graduación varía en los diferentes niveles del acopio. El Ingeniero deberá estar al tanto de los efectos producidos, en la graduación del agregado, por las diferentes prácticas de acopio, y siempre deberá fomentar las buenas prácticas. El ingeniero deberá estar preparado para recibir los agregados antes de que estos sean entregados en la planta. Deberán prepararse superficies firmes y limpias, y deberán tomarse precauciones para mantener separadas las reservas y así prevenir entremezclado de partículas, el cual conduce, frecuentemente, a errores en la graduación. La separación se logra ya sea manteniendo las reservas ampliamente espaciadas, mediante el uso de muros de contención entre ellas, o almacenando el agregado en depósitos.

El uso de muros de contención requiere que estos sean lo suficiente fuertes para resistir el peso del agregado, y que se extiendan hasta la profundidad total de las reservas.

a) Practicas Para la Construcción de Acopios

La manera como los agregados deben ser manejados durante el acopio depende de la naturaleza misma del material. Los agregados finamente graduados (tales como arenas y materiales finos) y los de un solo tamaño no requieren el mismo cuidado en su manejo que los agregados gruesos compuestos de varios tamaños de partícula. Las arenas, el agregado triturado fino, y los agregados de un solo tamaño (especialmente los tamaños pequeños) pueden ser manejados y almacenados casi de cualquier manera. Las combinaciones de agregados, sin embargo, requieren de un manejo especial. Por ejemplo, si un material que contiene partículas gruesas y finas se coloca en una pila con forma de cono, es probable que presente segregación debido a que las partículas grandes van a rodar por la pendiente de la reserva (Figura 15.A). Esta segregación puede ser minimizada si se construye la pila en capas (Figura 15.B).

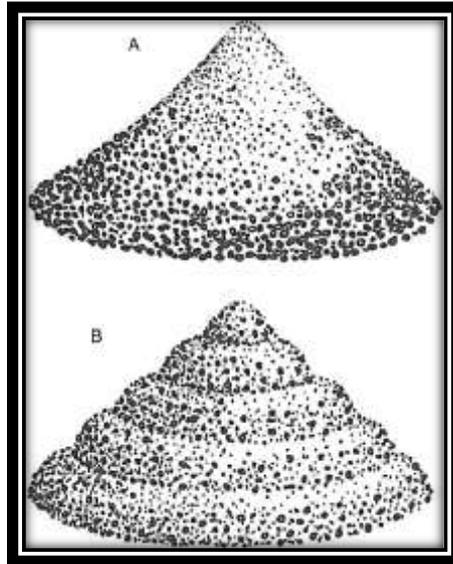


Figura 15– Método (A) Incorrecto (B) correcto para Apilar Agregado con Partículas Grandes y Pequeñas.

Si los agregados son transportados en camión, se puede construir una pila en capas vaciando las camionadas, una cerca de otra, sobre la superficie total del montón. El tamaño de las camionadas determinará el espesor de cada capa.

MANEJO DE AGREGADO

El manejo de agregado es muy importante ya que las partículas individuales de agregado causan segregación cuando se trata de partículas que presentan diferentes tamaños, por lo tanto, el manejo de agregado debe ser mínimo para poder prevenir cualquier degradación y segregación. El manejo mínimo incluye apartar el agregado de las reservas para que pueda ser procesado adicionalmente, y para luego ser mezclado en la planta de mezcla en caliente. No existen reglas específicas para esta operación, pero sí hay una norma general que casi siempre se aplica; ésta consiste en usar un cargador para remover material de las partes casi verticales del acopio. Si se

usa un buldózer, o cualquier otro vehículo de tracción, para trabajar en la parte superior del acopio, aumenta la probabilidad de una alta degradación. Si se permite el uso de topadoras en el manejo de pilas de agregado, estas no deberán trabajar continuamente sobre el mismo nivel. Si esto llegara a ocurrir, el material fino, producido por la acción moledora de la banda de rodamiento, encontrará el camino hacia la parte baja de la rampa que está siendo usada por la topadora (Figura16). Por lo tanto, el material tendrá que volver a ser tamizado antes de ser usado en la mezcla. De otra manera, el material deberá ser desechado. Este problema no está únicamente limitado al uso de topadoras y otros vehículos de tracción; también ocurre cuando se usan equipos con llantas de caucho.

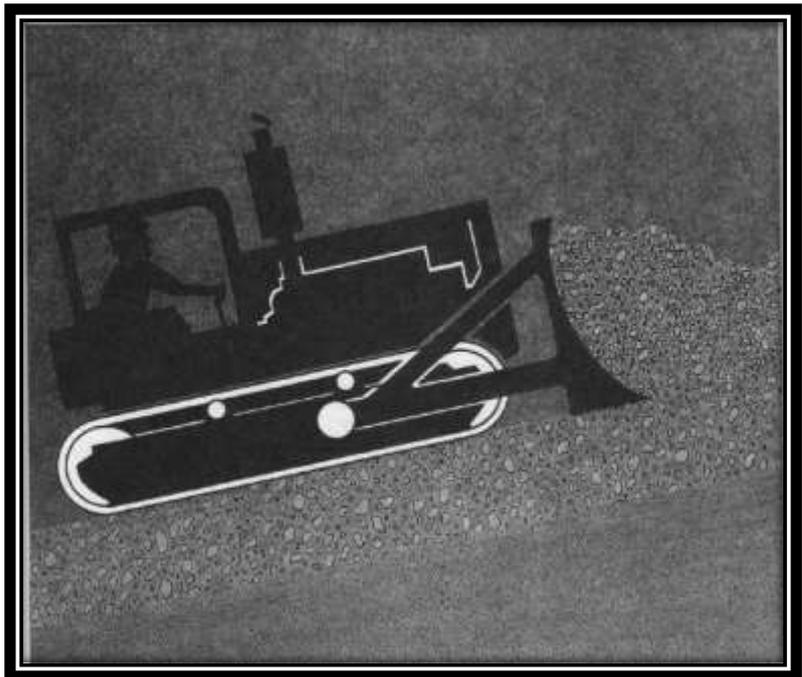


Figura 16. Segregación Causada por el Buldózer.

Para garantizar que la pila mantenga una graduación uniforme se deben tomar muestras del agregado, y ensayarlas con frecuencia. Cada muestra de la pila debe ser un compuesto de agregados tomados de

diferentes niveles de la pila - cerca a la cima, en la mitad, y cerca de la base. Es posible usar un escudo de madera o metal metido verticalmente en la pila, justo por encima del área de muestreo, para prevenir que partículas sueltas de agregado se derrumben sobre la muestra durante la operación de muestreo. Para obtener muestras use una pala de punta cuadrada con bordes doblados hacia arriba tal que formen una cuchara. Introduzca horizontalmente la cuchilla de la pala dentro de la pila y remueva una palada de material. Tenga cuidado de no dejar caer ninguna de las partículas. Luego coloque el agregado en un balde. Las paladas siguientes serán colocadas en el mismo balde. Asegúrese de obtener una palada de agregado, en el área de muestreo, de cada nivel de la pila. Es importante que las áreas de muestreo no estén en línea vertical. Estas deberán estar más bien escalonadas alrededor, o dentro, de la pila, para garantizar muestras representativas.

– IMPORTANCIA DEL MUESTREO Y REDUCCIÓN DE AGREGADO

a) IMPORTANCIA DEL MUESTREO DE AGREGADO

Los buenos procedimientos de control de calidad requieren de pruebas durante los procesos de producción, acopiado y manejo, para Asegurar que solamente se use material satisfactorio en la mezcla de pavimentación y Proporcionar un registro permanente como evidencia de que los materiales cumplen con las especificaciones de la obra. Obviamente, no resulta práctico ensayar todo el agregado que está siendo producido o ensayar todo el contenido del acopio. Solo es posible ensayar

muestras de estos materiales. La muestra seleccionada debe ser verdaderamente representativa de todo el agregado para que los resultados de los ensayos sean confiables. Es muy importante, por lo tanto, tener técnicas apropiadas de muestreo, (basados en la norma AASHTO T 2-91 (2000) y su equivalente ASTM D 75-87 (1992). Las cantidades requeridas en el muestreo están indicadas en la norma (ver Tabla 2.2). También se incluye información sobre el peso recomendado de la muestra, con base en el tamaño máximo de la partícula de agregado. Además, debe recordarse que las muestras más representativas son generalmente tomadas de las bandas transportadoras de agregado, y no de los acopios o depósitos.

b) IMPORTANCIA DE LA REDUCCIÓN DE AGREGADO.

Después de haber seleccionado una muestra de agregado, es a veces necesario reducir su tamaño (volumen) a uno más conveniente para que pueda ser manejada y ensayada. Debido a que este proceso de reducción puede causar segregación, es necesario tener mucho cuidado para poder preservar la integridad de la muestra. La Figura 2.4 ilustra dos ejemplos de métodos de reducción. Generalmente, es preferible usar el partidador mecánico de muestras con agregados gruesos o agregados finos secos. Por otro lado, el cuarteo es el mejor método cuando la muestra de agregado está húmeda. La reducción de la muestra se hace en base al tamaño máximo nominal del agregado y

de acuerdo a la norma AASHTO T 248-02 y su equivalente ASTM C 702-98 (2003), describe ambos métodos en detalle.

El método de cuarteo manual deberá ser usado cuando no se disponga de partidores mecánicos.

- PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS QUE SE UTILIZAN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (M.A.C)

a) PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN M.A.C.

En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica en caliente, el agregado conforma el 90 a 95 por ciento, en peso, de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación.

Estos criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado. Aún más, un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer también ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para pavimento asfáltico de buena calidad. Estas propiedades son:

- Graduación y tamaño máximo de partícula.
- Limpieza.
- Dureza.
- Forma de la partícula.
- Textura de la superficie.
- Capacidad de absorción.

- Afinidad con el asfalto.
- Peso específico.

Cada una de las propiedades mencionadas se describen a continuación.

b) Graduación y Tamaño Máximo de la Partícula Graduación

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico de mezcla en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en ciertas proporciones. Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. Es necesario entender cómo se mide el tamaño de partículas y la graduación para determinar si la graduación del agregado cumple o no con las especificaciones.

- Tamaño Máximo de Partícula

El tamaño de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado, debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado. Existen dos formas de designar tamaños máximos de partículas:

- Tamaño Máximo Nominal del Agregado

Designado como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10% de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices.

- Tamaño Máximo del Agregado

Designado como el tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula. Típicamente, este es el tamiz más pequeño por el cual pasa el 100 por ciento de las partículas de agregado.

c) Limpieza

Las especificaciones de la obra generalmente ponen un límite a los tipos y cantidades de materiales indeseables (vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla, etcétera) en el agregado. Las cantidades excesivas de estos materiales pueden afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento. La limpieza del agregado puede determinarse, usualmente, mediante inspección visual, pero un tamizado por lavado de acuerdo a la norma AASHTO T 11-97 (2000) y su equivalente ASTM 117-95 (donde el peso de la muestra de agregado antes de ser lavada es comparado con su peso después de ser lavada) proporciona una medida exacta del porcentaje de material indeseable más fino que 0.075 mm (No. 200). El Ensayo "Finos Plásticos en Agregados Graduados y Suelos por el Uso del Ensayo del Equivalente de Arena" (AASHTO T 176-02) es un método para determinar la proporción indeseable de polvo fino y arcilla en la fracción de agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

d) Dureza

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión (desgaste irreversible) y degradación durante la producción, colocación, compactación de la mezcla de pavimentación y durante la vida de servicio del pavimento. Los agregados que están en, o cerca de, la superficie, deben de tener mayor resistencia que los agregados usados en las capas inferiores de la estructura del pavimento. Esto se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del tránsito. El Ensayo de Desgaste de Los Ángeles (AASHTO T 96-2002, Equivalencia ASTM C-131-2001) mide la resistencia de un agregado al desgaste y a la abrasión (ver Figura17).



Figura 17. Máquina de Desgaste de Los Ángeles. Fuente: Laboratorio de Escuela de Ingeniería Civil, URP

e) Forma de la partícula

La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida. Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento generalmente con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre, por trituración. Muchas de las mezclas asfálticas de pavimentación contienen partículas angulares y redondas. Las partículas gruesas (grandes) de agregado proporcionan la resistencia en el pavimento y provienen generalmente de piedra o grava triturada. Las partículas finas de agregado suministran la trabajabilidad necesaria en la mezcla y provienen generalmente de arenas naturales.

La prueba de laboratorio más utilizada para medir la forma de las partículas es conocida como "cubicidad de las partículas" (Normas: ASTM D 692). Este método comprende el procedimiento de laboratorio para determinar las partículas chancadas (caras fracturadas), rodadas y lajeadas de la fracción retenida en la malla N° 4 (4.75 mm) de un pétreo.

f) Textura superficial

La textura superficial de las partículas de agregado es otro factor que determina no solo la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Algunos consideran que la textura superficial es más importante que la forma de la partícula. Una textura áspera, como la del papel de lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otras, y a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro.

Adicionalmente, las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas. Las gravas naturales son frecuentemente trituradas durante su procesamiento, debido a que generalmente contienen superficies lisas. El trituramiento produce texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas, así como cambios en la forma de la partícula.

No existe un método directo para evaluar la textura superficial. Es tan solo una característica, como la forma de la partícula, que está reflejada en los ensayos de resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla durante la construcción.

g) Capacidad de absorción

Normas: (Agregado grueso: AASHTO T 85-91 y ASTM C 127-88 (1993). Agregado fino: AASHTO T 84-00 y ASTM C 128-97). Todos los agregados son porosos, y algunos más que otros. La cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad.

La capacidad de un agregado de absorber agua (o asfalto) es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuará absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado. Debido a esto, un agregado poroso requiere cantidades muchos mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso.

Los agregados altamente porosos y absorbentes no son normalmente usados, a menos de que posean otras características que los hagan deseables, a pesar de su alta capacidad de absorción. Algunos ejemplos de dichos materiales son la escoria de alto horno y ciertos agregados sintéticos. Estos materiales son altamente porosos, pero también son livianos en peso y poseen alta resistencia al desgaste.

h) Afinidad con el Asfalto

La afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. Las calizas, las dolomitas, y las rocas traqueanas tienen alta afinidad con el asfalto y son

conocidas como hidrofóbicas (repelen el agua) porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies.

Los agregados hidrofílicos (atraen el agua) tienen poca afinidad con el asfalto. Por consiguiente, tienden a separarse de las películas de asfalto cuando son expuestos al agua. Los agregados silíceos (cuarcita y algunos granitos) son ejemplos de agregados susceptibles al desprendimiento y deben ser usados con precaución.

No es muy claro por qué los agregados hidrofóbicos e hidrofílicos se comportan de tal manera. A pesar de esto, existen varios ensayos para determinar su afinidad con el asfalto y su tendencia al desprendimiento. En uno de estos ensayos, la mezcla de agregado-asfalto, sin compactar, es sumergida en agua, y las partículas cubiertas son observadas visualmente.

En otro ensayo, comúnmente conocido como ensayo de inmersión-compresión, dos muestras de mezcla son preparadas y una es sumergida en agua. Posteriormente, ambas son ensayadas para determinar sus resistencias. La diferencia en resistencia es considerada un indicativo de la susceptibilidad del agregado al desprendimiento.

i) Peso Específico

(Norma: ASTM D 70, AASHTO T 228) El peso específico de un agregado (también conocido como gravedad específica) es la proporción entre el peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua. El peso específico es una forma de expresar las características de peso y

volumen de los materiales. Estas características son especialmente importantes en la producción de mezclas de pavimentación debido a que el agregado y el asfalto son proporcionados, en la mezcla, de acuerdo al peso. Una tonelada de agregado de bajo peso específico tiene un volumen mayor (ocupa más espacio) que una tonelada de agregado con un peso específico más alto. Por consiguiente, para poder cubrir todas las partículas de agregado, más asfalto debe ser adicionado a una tonelada de agregado con bajo peso específico (mayor volumen) que a una tonelada de agregado con un peso específico más alto (menos volumen).

Otra razón importante por la cual es necesario conocer el peso específico de los agregados usados es: que este ayuda en el cálculo de porcentaje de vacíos de aire (espacios de aire) de las mezclas compactadas. Todas las mezclas de pavimentación deben incluir un cierto porcentaje (en volumen) de vacíos o espacios de aire. Estos espacios desempeñan una labor importante en el pavimento terminado. La única manera de calcular el porcentaje de vacíos de aire en un volumen dado de mezcla de pavimentación es midiendo el peso específico de una muestra de la mezcla de pavimentación y luego restando, de su valor, los pesos específicos del agregado y el asfalto que conformará la mezcla. El resultado es una indicación del volumen de vacíos de aire en la muestra.

Todos los agregados son hasta cierto punto porosos. Se ha desarrollado tres tipos de peso específico para tener en cuenta la porosidad del

agregado, debido a que esta afecta la cantidad de asfalto que se requiere para cubrir las partículas de agregado y también el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla final.

Estos tres tipos son:

- Peso específico total
- Peso específico aparente
- Peso específico efectivo

La determinación de esta propiedad (peso específico) incluyendo los tres tipos ya mencionados, se logra mediante el ensayo de laboratorio conocido como:

j) Gravedad Específica y Absorción del Agregado.

El peso específico total de una muestra incluye todos los poros de la muestra.

El peso específico aparente no incluye, como parte del volumen de la muestra, los poros y espacios capilares que se llenarían de agua al saturar la muestra. El peso específico efectivo excluye, del volumen de la muestra, todos los poros y espacios capilares que absorben asfalto. Ninguna de estas suposiciones excepto en casos muy raros, es verdadera sin embargo, el peso específico efectivo, el cual discrimina entre poros permeables al agua y poros permeables al asfalto, es el que más se acerca al valor correcto que debe ser usado en los cálculos de mezclas asfálticas.

- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

IMPORTANCIA DE UNA BUENA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO

La granulometría de partículas es determinada por un análisis de tamices efectuado sobre las muestras de agregado. El análisis de tamices consiste en pasar la muestra por una serie de tamices, cada uno de los cuales tiene aberturas de un tamaño específico (ver Figura 18).

Los tamices están denominados de acuerdo al tamaño de sus aberturas. Las partículas gruesas quedan atrapadas en los tamices superiores; las partículas de tamaño medio pasan a través de los tamices medianos; y las partículas finas pasan a través de los tamices inferiores.

La granulometría del agregado, o graduación de la mezcla, tiene en cuenta el porcentaje (en peso) total de muestra que pasa por cada uno de los tamices. La granulometría es determinada al calcular el peso del contenido de cada tamiz, después de haber efectuado el análisis de tamices. Luego se resta el peso del contenido de cada tamiz del peso total de la muestra.



Figura 18. Análisis de Tamices

Los concretos asfálticos son clasificados de acuerdo a los porcentajes de partículas de agregado que contienen. La Tabla ilustra cinco tipos diferentes de concreto asfáltico y sus contenidos respectivos de agregado.

Cuando se consideran las características de la graduación total de una mezcla asfáltica, resulta ser que la cantidad de material que pasa el tamiz de 2.36 mm (No. 8) es un punto importante y conveniente de control de campo entre los agregados finos y los agregados gruesos. Las graduaciones que se aproximan a la cantidad máxima permitida que debe pasar por el tamiz de 2.36 mm resultaran en superficies de pavimento con textura relativamente fina. Las graduaciones que se aproximan al valor mínimo permitido resultaran en superficies con textura relativamente áspera.

El material que pasa el tamiz de 0.075 mm (No. 200) puede consistir de partículas finas de agregado o de

relleno mineral, o de ambos. Este material deberá estar libre de materia orgánica y de partículas de arcilla, y deberá tener un índice de plasticidad no mayor a 4 cuando se usa el Método D 423 o D 424 de la ASTM.

La cantidad de cemento asfáltico está dada en porcentaje por peso de la mezcla total. La amplia diferencia en pesos específicos de varios agregados, así como la diferencia en absorción, resulta en el amplio margen de cantidad de asfalto requerida. Esta cantidad de asfalto requerida deberá determinarse usando las pruebas adecuadas de laboratorio, o con base en la experiencia previa con mezclas similares, o mediante una combinación de ambos métodos. Las especificaciones de granulometría de agregado para una obra dada pueden ser presentadas gráficamente.

MÉTODOS UTILIZADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA.

Los dos métodos usados para determinar la graduación de agregados son:

Tamizado en seco, para “Análisis por Tamizado de Agregados Fino y Grueso” (AASHTO T 27-99 Con equivalencia en ASTM C 136-01) y tamizado por lavado, para “Materiales más Finos que Pasan el Tamiz de 75- μ m (No. 200) en Agregado Minerales por Lavado, (AASHTO T 11-97 (2000) Con equivalencia en ASTM C 117-95). El tamizado en seco se usa generalmente con material agregado de graduación gruesa. Sin embargo, cuando las partículas de agregado están cubiertas de polvo o

material limo-arcilloso, se debe efectuar un tamizado por lavado.

a) Tamizado en seco.

Se usa generalmente con material agregado de graduación gruesa. Sin embargo, cuando las partículas de agregado están cubiertas de polvo o material limo-arcilloso, se debe efectuar un tamizado por lavado.

Las muestras para el tamizado son reducidas por medio de un “cuarteador” de muestras, o mediante cuarteo manual.

Los material finos y gruesos son separados usando un tamiz de 4.75 mm (No. 4).

Las muestras son secadas hasta un peso constante.

Las muestras finas y las muestras gruesas son tamizadas separadamente.

El peso de las fracciones (porciones) retenidas en cada tamiz, y en el plato que esta al final de los tamices, es registrado, así como la graduación de cada muestra (parte fina y parte gruesa).

En la norma (AASHTO T 27-99 y ASTM C 136-01) se puede encontrar el procedimiento para tamizado en seco.

b) Tamizado por vía húmeda

Las muestras para este tipo de tamizado son lavadas a fondo para remover el polvo y el material limo-arcilloso, después de haber sido reducidas, separadas, secadas y pesadas.

Después de ser lavadas, las muestras son nuevamente secadas y pesadas. La diferencia en peso antes y después del lavado representa la

cantidad de polvo y material limo-arcilloso en la muestra original.

En la norma AASHTO T 11-97 y su equivalente ASTM C 117-95, se puede encontrar el procedimiento para tamizado por vía húmeda.

PREPARACIÓN DE AGREGADOS

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.

a) Secado del Agregado

El Método Marshall requiere que los agregados ensayados estén libres de humedad, tan práctico como sea posible. Eso 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.

b) Análisis Granulométrico por Vía Húmeda

El análisis granulométrico por vía humedad 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.

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

- ✓ Cada muestra de agregado es secada y pesada.
- ✓ Luego cada muestra es lavada a través de un tamiz de 0.075mm (No. 200), para remover cualquier polvo mineral que este cubriendo el agregado.
- ✓ Las muestras lavadas son secadas siguiendo el procedimiento de calentado y pesado descrito anteriormente.
- ✓ El peso seco de cada muestra es registrada. La cantidad de polvo mineral puede ser determinada si se comparan los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.

c) Determinación 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.

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 está formulada por los resultados del análisis granulométrico.

Las mezclas se preparan de la siguiente manera:

- 1.- El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta (ver Figura 19).



Figura 19. Temperatura óptima para compactación.

2.- Las mezclas asfálticas calientes se colocan en moldes precalentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de mezcla al golpearla (ver Figura 20).



Figura 20. Colocación de mezcla asfáltica en moldes.

3.- Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50 ó 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada briqueta 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 extraída de los moldes (ver Figura 21).



Figura 21. Martillo Marshall de compactación.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

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

- ✓ **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 de ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos.

- ✓ **Ensayo de Estabilidad y Fluencia**
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:
 - 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 (ver Figura22).



Figura 22. Briquetas en baño maría.

- 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).
- 3.- La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51mm (2 in) por minuto hasta que la muestra falle. La lectura de esta, es definida como la carga máxima que la briqueta puede resistir.
- 4.- La carga falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la del medidor de fluencia se registra como fluencia (ver Figura 23).



Figura 23. Medición de la estabilidad Marshall y fluencia.

✓ Valor de Estabilidad Retenida 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.

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.

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.

✓ 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.

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.

- **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.

- **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.

- Análisis de Peso Unitario

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

- Análisis de VMA

Los vacíos en el agregado mineral, VMA, están definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentran entre las partículas de agregados 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.

- Análisis 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, y 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.

- ✓ Relación 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.

- 1.- El porcentaje de vacíos disminuye a medida que aumenta el contenido de asfalto.
- 2.- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) generalmente disminuye hasta un valor mínimo, y luego aumenta con aumentos en el contenido de asfalto.
- 3.- 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.
- 4.- Hasta cierto punto, los valores de estabilidad aumenta a medida que el contenido de asfalto aumenta. Más allá de este punto, la estabilidad disminuye con cualquier aumento en el contenido de asfalto.

✓ **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 2.6%. 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.

LINEAMIENTOS GENERALES PARA AJUSTAR LAS MEZCLAS DE PRUEBA.

✓ Bajo Contenido de Vacíos y Estabilidad Baja

Los vacíos pueden incrementarse en diferentes formas. Como un acercamiento general para lograr vacíos altos en el agregado mineral (en consecuencia proveer de suficientes espacios, para una adecuada cantidad de asfalto y vacíos de aire), la graduación del agregado debe ajustarse mediante la adición de más agregados grueso o fino. Si el contenido de asfalto es más alto de lo normal y el exceso no es necesario para reemplazar el absorbido por el agregado, entonces el contenido de asfalto deberá reducirse a fin de incrementar el porcentaje de vacíos, proveyendo un adecuado VMA. Se deberá recordar que disminuir el porcentaje de asfalto podrá tender a bajar la durabilidad del pavimento.

Demasiada reducción en el contenido de asfalto puede ocasionar fracturación, oxidación acelerada e incremento de la permeabilidad. Si los ajustes anteriores no producen una mezcla estable, el agregado tendrá que cambiarse. Es también posible mejorar la estabilidad e incrementar el contenido de vacíos en el agregado de la mezcla, mediante el incremento del agregado grueso o reducción de la cantidad de material que pasa la malla No. 200. Con la incorporación de arena procesada, el contenido de vacíos puede mejorarse sin sacrificar la estabilidad de la mezcla.

✓ Bajo contenido de Vacíos y Estabilidad Satisfactoria

Bajos contenidos de vacíos pueden eventualmente resultar en inestabilidad debido a flujo plástico o después de que el pavimento ha sido expuesto al tránsito por un periodo de tiempo ante la reorientación de las partículas y compactación adicional, por su parte, insuficientes vacíos

pueden ser producto de la cantidad requerida de asfalto para obtener una durabilidad alta en mezclas finas; sin embargo, la estabilidad es inicialmente satisfactoria por el tránsito específico. Una degradación de agregado pobre durante la producción de la mezcla y/o bajo la acción de tránsito puede ocasionar subsecuentemente inestabilidad y flujo si el contenido de vacíos de la mezcla no es suficiente. Por estas razones, mezclas con vacíos bajos tendrán que ajustarse por uno de los métodos dados, sin importar que la estabilidad inicial sea satisfactoria.

✓ Contenido Satisfactorio de Vacíos y Estabilidad Baja

La baja estabilidad cuando los vacíos y la graduación del agregado son satisfactorios, puede indicar algunas deficiencias en el agregado. Se deberán tomar consideraciones para mejorar la forma de la partícula de los agregados utilizando material producto de trituración o incrementando el porcentaje de agregado grueso en la mezcla o posiblemente aumentando el tamaño máximo del agregado. Partículas de agregado con textura rugosa y superficies menos redondeadas, presentan más estabilidad cuando se mantiene o incrementa el volumen de vacíos.

✓ Contenido alto de Vacíos y Estabilidad Satisfactoria

Altos contenidos de vacíos se asocian frecuentemente con mezclas con alta permeabilidad; al permitir la circulación de aire y agua a través de la mezcla asfáltica pueden ocasionar endurecimiento prematuro del asfalto, desprendimiento del agregado, o posible desprendimiento del asfalto en el agregado. Aun cuando la estabilidad es satisfactoria, se deberán realizar ajustes para reducir los vacíos.

Pequeñas reducciones se logran mediante la adición de polvo mineral a la mezcla. Podría ser necesario seleccionar

o combinar agregados para lograr una graduación, la cual deberá estar cerca de la curva de máxima densidad.

✓ Vacíos Altos y Estabilidad Baja

Se deberán tomar en cuenta dos pasos para este tipo de condiciones; el primero es ajustar el volumen de vacíos mediante los métodos discutidos en los puntos anteriores; y en el segundo, si los ajustes no mejoran la estabilidad, deberá hacer una consideración de la calidad de los materiales.

2.2.1.2.2. RUEDA DE HAMBURGO

ANTECEDENTES

El ensayo de la Rueda de Hamburgo fue desarrollado en Alemania en 1970, tomando como idea principal un modelo de origen Británico. Es ampliamente utilizado en EE.UU. y Europa para evaluar mezclas asfálticas en relación a su resistencia a la humedad y al ahuellamiento.

El ensayo de Rueda de Hamburgo está normalizado en AASHTO T324-04 Standard Method of test of Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt.

La Rueda de Hamburgo es sin duda el equipo más utilizado para evaluar la deformación permanente de las mezclas asfálticas en las condiciones más desfavorables: sumergidas en agua a altas temperatura (ver Figura 24).



Figura 24. Máquina de Ensayo Hamburg Wheel-Tracking Device (HWT)

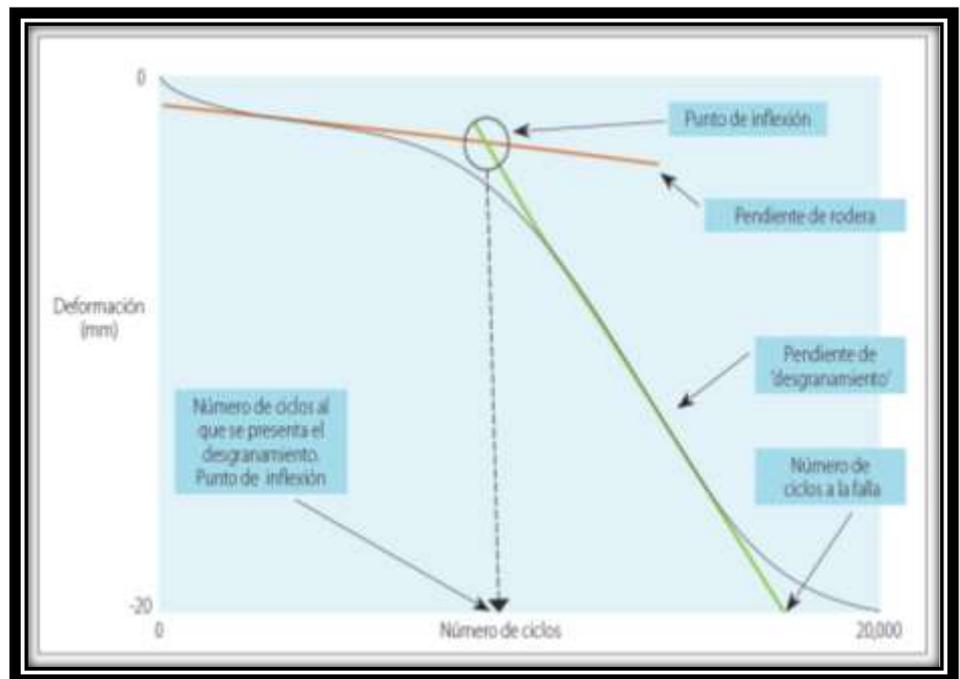
PROPÓSITO DE LA PRUEBA

Sirve para identificar problemas de adherencia de los materiales pétreos con el cemento asfáltico y para identificar una mezcla con estructura mineral deficiente, que se susceptible de presentar baches o deformaciones permanentes.

Este método utiliza un equipo compuesto por dos ruedas de acero que se mueven axialmente sobre una muestra de mezcla asfáltica producida y compactada en el laboratorio, o sobre un corazón extraído del campo de 250 mm de diámetro. La carga en cada rueda es de 158 lb, con una presión de contacto de 217 psi (equivalente a 98.066 kPa). Los especímenes son probados típicamente a 50° C y sumergidos completamente en un baño de agua. El baño, además de mantener la temperatura de prueba, determina la susceptibilidad de la mezcla a la presencia de humedad; muchos investigadores han determinado que esta es una prueba demasiado severa para evaluar el daño causado por ésta en las mezclas asfálticas.

La velocidad de la rueda es de 30 cm por segundo. La prueba se corre a 20,000 ciclos o a una deformación límite de 20 mm. El criterio general de falla en la especificación es definido a 4 mm de deformación máxima en autopistas y 2.5 mm en zonas industriales.

Cuando existe un cambio de pendiente en el desarrollo de la prueba, el punto de inflexión indica el momento en el que la muestra presentará susceptibilidad al daño por humedad, a partir del cual comienza la zona de desgranamiento. En la gráfica se muestran las diferentes zonas en las que se dividen los resultados (ver Gráfico 01).



Gráfica 01. División de resultados en el método de la rueda cargada "Hamburgo"

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LA PRUEBA DE SIMULACIÓN DE HAMBURGO

La Prueba de Simulación de Hamburgo deberá ser efectuada de acuerdo al procedimiento AASHTO T324-04, considerando los siguientes parámetros:

- Dos especímenes por cada prueba.

- Temperatura del baño de agua a 50°C.
- 20,000 ciclos.
- Especímenes debidamente confinados con yeso o material similar para evitar su movimiento durante la prueba.
- Especímenes debidamente nivelados y centrados en el molde de prueba.

Ates de colocar los especímenes en el aparato de Hamburgo se deberán conocer su densidad compactada aplicando el procedimiento AASHTO T166-00 con el objetivo de conocer el % de vacíos de aire de la mezcla compactada.

CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

Con respecto a la prueba de simulación de Hamburgo, la deformación máxima promedio permisible para considerar que la mezcla cumple con las expectativas de desempeño en cuanto a susceptibilidad a la humedad y deformaciones permanentes será de 12.5 mm a 20,000 ciclos, sin presentar desprendimiento del agregado durante la prueba.

2.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

2.3.1. Hipótesis General

La Rueda de Hamburgo permite comprobar que la carpeta asfáltica usada en la rehabilitación de la carretera Imperial pampas cumple con los estándares de calidad de acuerdo al método Marshall.

2.3.2. Hipótesis Específicas

2.3.2.1. Los áridos de la Mezcla asfáltica en caliente usada en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas, son satisfactorios.

2.3.2.2. Las proporciones de los agregados para la combinación granulométrica, empleados en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas, son los adecuados

2.3.2.3. La calidad de mezcla asfáltica empleados en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas, son óptimos.

2.3.3. Variables

Variable Independiente

- Método de Marshall

Variable Dependiente

- Ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo.

2.3.4. Operacionalización de las Variables

Tabla 15. Operacionalización de Variables

Variablen	Dimensiones	Indicador	Índice
Independiente			
Método de Marshall	Agregados	Uso Granulométrico	Calidad
	Cemento Asfáltico	Penetración	Rango Normado
Dependiente			
Ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo	Calidad	Saturación	Número de pasadas versus deformación.

CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la Investigación.

- El tipo de investigación para esta Tesis es cualitativa y cuantitativa.
- El nivel de investigación es Explicativo y Aplicativo.

3.2. Población y muestra

- Población: Tramo Imperial Pampas de 36.85 Kilómetros
- Muestra: 10 Kilómetros de tramo del Imperial Pampas.

3.3. Técnicas de recolección de datos

3.3.1. Descripción de los Instrumentos

- Prensa Marshall Forney

Prensa utilizada para realización del ensayo de la determinación de la fluencia y estabilidad de mezclas Bituminosas de Cemento Asfáltico de acuerdo con las normas de ensayo ASTM D-1559 y AASHTO T-245.

- Balanza Electrónica EB30

La balanza Ohaus serie EB es un equipo de pesada multi - función con alto rendimiento. Con Resultados exactos y lecturas rápidas, múltiple funcionalidad y batería recargable.

Capacidad Máxima de pesaje 30 kg.

Velocidad de lectura < 2 segundos

Cuatro unidades de pesada: kg., gr., lb., oz.

- Baño María

El baño María es usado en el laboratorio para calentar sustancias que no pueden ser expuestas a fuego directo mediante la ebullición del agua.

Para calentar sustancias puede hacerse uso de agua, aceites o soluciones salinas.

- Rice

Se emplea para determinar la gravedad específica máxima teórica de las mezclas de pavimentación bituminosas no compactadas.

También se puede emplear para calcular el porcentaje de huecos de aire en mezclas bituminosas compactadas y la cantidad de betún absorbido por los áridos.

- Vacuómetro

Es un instrumento destinado para medir presiones inferiores a la presión atmosférica.

- Manómetro

Es un instrumento utilizado para la medición de la presión en los fluidos, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local.

3.3.2. Validez y Confiabilidad de los Instrumentos

Los aspectos a considerar en los instrumentos utilizados para los ensayos realizados han sido validados por GRUPO MEDICIONES S.A.C., empresa que hace mantenimiento, calibración, certificación y fabricación de instrumentos de medición.

3.4. Técnicas para el procesamiento y análisis de los datos

- Trabajo de campo
- Ordenamiento y codificación de datos
- Tabulación de datos
- Gráficos
- Análisis e Interpretación

3.5. Aspectos éticos

Los datos obtenidos fueron proporcionados por la Empresa COSAPI, el Gerente del Proyecto Marco Antonio Carrasco y el Ingeniero Guillermo Lazo Lázaro.

Todos los ensayos fueron ejecutados con personal técnico autorizado y realizados bajo las normas vigentes ASTM – 3515 Granulometría límite para agregados, ASTM D-1559 Diseño de Mezcla Método Marshall, ASTM E4–Prensa Marshall.

CAPITULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Variable Independiente: Método de Marshall:

Esta variable tiene como dimensiones: Los agregados y Cemento Asfáltico.

Los Agregados comprenden: La arena natural, Arena chancada, piedra chancada de $\frac{3}{4}$, piedra chancada de $\frac{1}{2}$, y dosificador de filler.

4.1.1.- Resultados de los agregados.

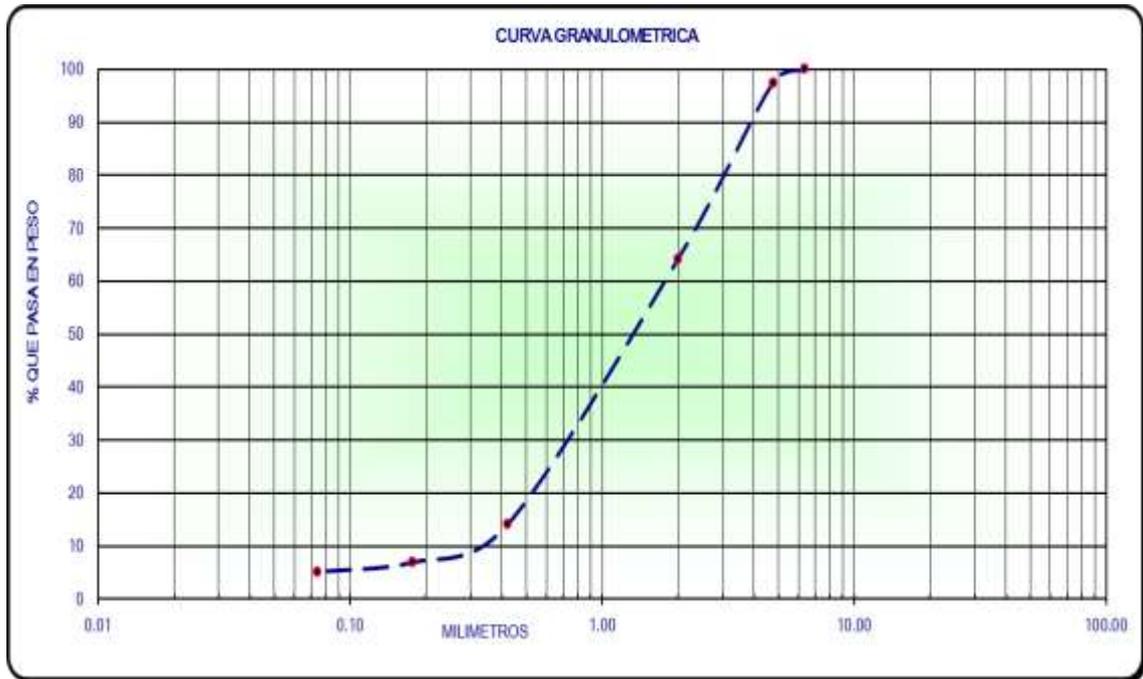
Los resultados se muestran en la Tabla 16:

Tabla 16. Granulometría de la arena natural

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO								
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO FINO NORMAS TÉCNICAS: MTCE 204, ASTM C 136, AASHTO T 27								
DATOS DE LA MUESTRA								
CONCEPTO :	AGREGADO FINO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO							
MUESTRA :	ARENA NATURAL ZARANDEADA							
CANTERA :	MANTACRA						HECHO POR:	M.P.Z
UBICACIÓN :	ACCESO A 56 KM DE DV. IMPERIAL PAMPAS							
TAMIZ Nº (A.S.T.M.)	ABERTURA EN. mm.	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
2"	50.800						Tamaño Max. : 1/4"	
1 1/2"	38.100						Peso Total (gr.) : 1309.2	
1"	25.400						Peso de Grava (gr. :	
3/4"	19.050						Peso de Arena (gr. :	
3/8"	9.525							
1/4"	6.350				100			
Nº 4	4.760	33.3	2.5	2.5	97.5			
Nº 8	2.380	342.7	26.2	28.7	71.3		Observaciones:	
Nº 10	2.000	92.6	7.1	35.8	64.2		Muestra Nº : M - 1	
Nº 16	1.190	299.0	22.8	58.6	41.4			
Nº 20	0.840							
Nº 30	0.590	276.0	21.1	79.7	20.3			
Nº 40	0.420	82.0	6.3	86.0	14.0			
Nº 50	0.297	56.4	4.3	90.3	9.7			
Nº 80	0.177	36.7	2.8	93.1	6.9			
Nº 100	0.149	7.5	0.6	93.7	6.3			
Nº 200	0.074	16.2	1.2	94.9	5.1			
< Nº 200	-	66.8	5.1	100.0				

El resultado de la tabla 16 indica los porcentajes que pasa la arena según las mallas establecidas de una de las 3 pruebas realizadas a la arena natural. La grafica de la tabla 16 es la siguiente Grafica 2:

Grafica 02: Curva granulométrica



Fuente: propia

La gravedad específica de la arena natural se muestra en la siguiente tabla N°17.

Tabla 17. Gravedad específica de la arena natural

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO			
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO NORMAS TÉCNICAS: MTC E 205, ASTM C 128, AASHTO T 84			
DATOS DE LA MUESTRA			
CONCEPTO :	AGREGADO FINO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO		
MUESTRA :	ARENA NATURAL ZARANDEADA	FECHA:	
CANTERA :	MANTACRA	HECHO POR:	P.D.B
UBICACIÓN :	ACCESO A 56 KM DE DV. IMPERIAL PAMPAS		
AGREGADO FINO	ENSAYO		
	1	2	
A) Peso Material Saturado Superficialmente Seco (en el aire) gr.	500.0	500.0	
B) Peso de Frasco + Agua gr.	637.1	641.0	
C) Peso de Frasco + Agua + A gr.	1137.1	1141.0	
D) Peso de Material + Agua en el Frasco gr.	947.9	951.7	
E) Volumen de Masa + Volumen de Vacíos (= C- D)	189.2	189.3	
F) Peso de Material Seco gr.	488.5	488.4	
G) Volumen de Masa (= E-(A-F)	177.7	177.7	
P.E Bulk (base seca) (= F/E)	2.582	2.580	2.581
P.E Bulk (base saturada) (= A/E)	2.643	2.641	2.642
P.E Aparente (base seca) (= F/G)	2.749	2.748	2.749
Porcentaje de Absorción (= ((A-F) / F) x 100)	2.354	2.375	2.365
PROMEDIO DE PESO ESPECIFICO - BASE SECA	2.581		
PROMEDIO DE ABSORCION	2.365		

El resultado de la tabla N°17 presenta el peso específico y la absorción de la muestra de la arena natural.

Los resultados de la prueba equivalente de arena natural se presentan en la tabla N°18.

Tabla 18. Equivalente de arena natural

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO				
EQUIVALENTE DE ARENA NORMAS TÉCNICAS: MTC E 114, ASTM D 2419, AASHTO T 176				
DATOS DE LA MUESTRA				
CONCEPTO :	AGREGADO FINO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO			
MUESTRA :	ARENA NATURAL ZARANDEADA			FECHA:
CANTERA :	MANTACRA			HECHO POR: M.P.Z
UBICACIÓN :	ACCESO A 56 KM DE DV. IMPERIAL PAMPAS			
Nº DE ENSAYOS		1	2	PROMEDIO
Tamaño máximo (pasa malla N° 4)		4.76	4.76	
Hora de entrada a saturación		08:10	08:12	
Hora de salida de saturación (mas 10")		08:20	08:22	
Hora de entrada a decantación		08:22	08:24	
Hora de salida de decantación (mas 20")		08:42	08:44	
Altura máxima de material fino		6.7	6.8	
Altura máxima de la arena		3.9	3.9	
Equivalente de Arena (%)		58.2	57.4	57.8
Resultado Final Considerado por Norma EG 2000 (%)		58		

El resultado de la tabla N°18 nos muestra un promedio de equivalente de arena de 58%. lo que indica cumple con la exigencia de la norma.

Los resultados de la prueba límites de consistencia para la malla N° 40 se presenta en la tabla N°19

Tabla 19. Límites de consistencia para la malla N° 40

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO						
LÍMITES DE CONSISTENCIA NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90						
DATOS DE LA MUESTRA						
CONCEPTO	: AGREGADO FINO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO				FECHA	:
MUESTRA	: ARENA NATURAL ZARANDEADA				HECHO POR	: M.P.Z
CANTERA	: MANTACRA					
UBICACIÓN	: ACCESO A 56 KM DE DV. IMPERIAL PAMPAS					
LÍMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)						
N° TARA						
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)					
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)					
PESO DE AGUA	(gr.)					
PESO DE LA TARA	(gr.)					
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)					
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)					
NUMERO DE GOLPES						
LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)						
N° TARA						
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)					
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)					
PESO DE AGUA	(gr.)					
PESO DE LA TARA	(gr.)					
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)					
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)					

El resultado de la tabla N°19 nos presenta la muestra de la arena natural no presenta limite liquido ni limite plástico. Lo que indica cumple con la exigencia de la norma

Los resultados de la prueba límites de consistencia para la malla N°200 se muestra en la tabla N°20

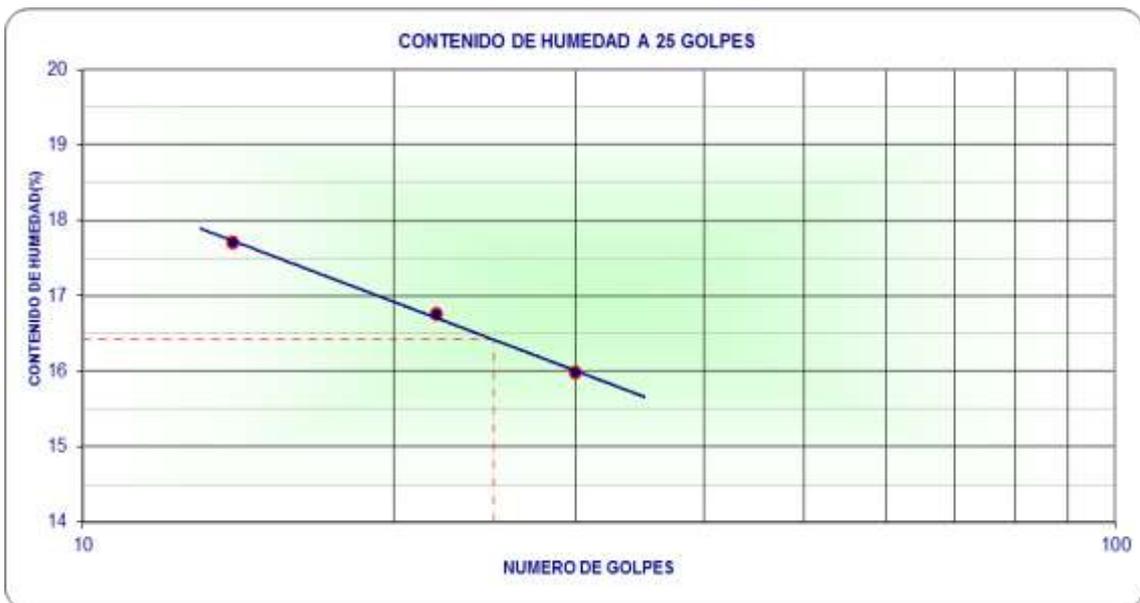
Tabla 20. Límites de consistencia para la malla N°200

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO						
LÍMITES DE CONSISTENCIA						
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90						
DATOS DE LA MUESTRA						
CONCEPTO	: AGREGADO FINO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO					
MUESTRA	: ARENA NATURAL ZARANDEADA			FECHA	:	
CANTERA	: MANTACRA			HECHO POR	: M.P.Z	
UBICACIÓN	: ACCESO A 56 KM DE DV. IMPERIAL PAMPAS					
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)						
N° TARA		T-31	T-32	T-33		
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	44.15	45.13	48.10		
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	40.87	40.97	43.91		
PESO DE AGUA	(gr.)	3.28	4.16	4.19		
PESO DE LA TARA	(gr.)	20.35	16.13	20.25		
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	20.52	24.84	23.66		
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	15.98	16.75	17.71		
NUMERO DE GOLPES		30	22	14		
LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)						
N° TARA						
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)					
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)					
PESO DE AGUA	(gr.)					
PESO DE LA TARA	(gr.)					
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)					
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)					

El resultado de la tabla 20 nos presenta la muestra de la arena natural e indica el límite líquido pero no presenta límite plástico. Lo que indica que cumple con la exigencia de la norma

La grafica de la tabla 20 es la siguiente.

Grafica 03: límites de consistencia para la malla N°200



Fuente: propia.

El resultado de la gráfica 03 nos presenta que la muestra de la arena natural presenta para 25 golpes una humedad de 16.5%

Los resultados de la prueba de sales solubles totales para la muestra de la arena natural se presenta en la tabla 21.

Tabla 21. Sales solubles totales

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO				
SALES SOLUBLES TOTALES NORMAS TÉCNICAS: MTC E 219, ASTM D 1888				
DATOS DE LA MUESTRA				
CONCEPTO	: AGREGADO FINO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO			
MUESTRA	: ARENA NATURAL ZARANDEADA		FECHA:	
CANTERA	: MANTACRA		HECHO POR:	M.P.Z
UBICACIÓN	: ACCESO A 56 KM DE DV. IMPERIAL PAMPAS			
MUESTRA		1	2	
Peso de Tara		164.08	164.14	
Peso tara + agua + sal		254.93	250.70	
Peso tara + sal		164.10	164.16	
Peso sal		0.020	0.020	
Peso agua		90.83	86.54	
% de sales solubles totales		0.022	0.023	
Promedio de Sales Solubles Tot. (%)		0.023		

El resultado de la tabla 21 nos indica que la muestra de la arena natural presenta un promedio de 0.023% de sales solubles totales. Lo que se considera como adecuado.

Los resultados de la prueba de durabilidad al sulfato de magnesio para la muestra de la arena natural se presentan en la tabla 22

Tabla 22. Durabilidad al sulfato de magnesio

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y ASFALTO										
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO FINO NORMAS TÉCNICAS: MTC E 209,ASTM C 88,AASHTO T 104										
DATOS DE LA MUESTRA										
CONCEPTO	: AGREGADO FINO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO									
MUESTRA	: ARENA NATURAL ZARANDEADA									
CANTERA	: MANTACRA							FECHA:	00/01/1900	
UBICACIÓN	: ACCESO A 56 KM DE DV. IMPERIAL PAMPAS							HECHO POR:	A.C.D	
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO FINO										
TAMAÑO		PESO REQUERIDO (gr)	RECIPIENTE Nº	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA		ESCALONADO ORIGINAL	PERDIDA CORREGIDA	
						PESO	%			
3/8"	Nº 4	100	1	100.0	92.6	7.40	7.40	2.54	0.19	
	Nº 4	100	2	100.0	97.4	2.60	2.60	26.18	0.68	
	Nº 8	100	3	100.0	97.0	3.00	3.00	22.84	0.69	
	Nº 16	100	4	100.0	97.0	3.00	3.00	21.08	0.63	
	Nº 30	100	5	100.0	97.5	2.50	2.50	4.31	0.11	
TOTALES								100.0	2.11	

El resultado de la tabla 22 nos indica que la muestra de la arena natural presenta una pérdida de durabilidad al sulfato de magnesio de 2.11.

4.1.2. Resultados del análisis de la Arena chancada.

Los resultados se muestran en la Tabla 23

Tabla 23. Granulometría de la arena chancada

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO								
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO FINO NORMAS TÉCNICAS: MTC E 204, ASTM C 136, AASHTO T 27								
DATOS DE LA MUESTRA								
CONCEPTO :	AGREGADO FINO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO						FECHA:	
MUESTRA :	ARENA CHANCADA						HECHO POR:	P.D.B
CANTERA :	ROCA; KM 17+960 L. IZQ.							
UBICACIÓN :	ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.							
TAMIZ Nº (A.S.T.M.)	ABERTURA EN. mm.	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
2"	50.800						Tamaño Max. : 1/4"	
1 1/2"	38.100						Peso Total (gr.) : 1224.8	
1"	25.400						Peso de Grava (gr. :	
3/4"	19.050						Peso de Arena (gr. :	
3/8"	9.525							
1/4"	6.350				100			
Nº 4	4.760	46.2	3.8	3.8	96.2			
Nº 8	2.380	304.0	24.8	28.6	71.4		Observaciones:	
Nº 10	2.000	71.3	5.8	34.4	65.6		Muestra Nº : M - 1	
Nº 16	1.190	221.8	18.1	52.5	47.5			
Nº 20	0.840							
Nº 30	0.590	185.0	15.1	67.6	32.4			
Nº 40	0.420	66.9	5.5	73.1	26.9			
Nº 50	0.297	55.7	4.5	77.6	22.4			
Nº 80	0.177	59.4	4.8	82.5	17.5			
Nº 100	0.149	20.4	1.7	84.2	15.8			
Nº 200	0.074	55.1	4.5	88.7	11.3			
< Nº 200	-	139.0	11.3	100.0				

El resultado de la tabla 23 indica los porcentajes que pasan según las mallas establecidas en una de las pruebas realizadas a la arena chancada .La grafica de la tabla 23 es la siguiente:

Grafica 04: curva granulométrica de la arena chancada



Fuente: propia

La gravedad específica de la arena chancada se muestra en la siguiente tabla 24

Tabla 24. Gravedad específica de la arena chancada

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO			
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO NORMAS TÉCNICAS: MTC E 205, ASTM C 128, AASHTO T 84			
DATOS DE LA MUESTRA			
CONCEPTO :	AGREGADO FINO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO		
MUESTRA :	ARENA CHANCADA		FECHA:
CANTERA :	ROCA; KM 18+000 L. IZQ.		HECHO POR: P.D.B
UBICACIÓN :	ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.		
AGREGADO FINO		ENSAYO	
		1	2
A) Peso Material Saturado Superficialmente Seco (en el aire) gr.		500.0	500.0
B) Peso de Frasco + Agua gr.		637.1	641.0
C) Peso de Frasco + Agua + A gr.		1137.1	1141.0
D) Peso de Material + Agua en el Frasco gr.		952.9	957.2
E) Volumen de Masa + Volumen de Vacios (= C- D)		184.2	183.8
F) Peso de Material Seco gr.		497.3	497.4
G) Volumen de Masa (= E-(A-F)		181.5	181.2
P.E Bulk (base seca) (= F/E)		2.700	2.706
P.E Bulk (base saturada) (= A/E)		2.714	2.720
P.E Aparente (base seca) (= F/G)		2.740	2.745
Porcentaje de Absorción (= ((A-F) / F) x 100)		0.543	0.523
PROMEDIO DE PESO ESPECIFICO - BASE SECA		2.703	
PROMEDIO DE ABSORCION		0.533	

El resultado de la tabla 24 nos indica el peso específico de 2.703 y la absorción de 0.533 de una muestra de la arena chancada. Que se considera adecuado.

Los resultados de la prueba equivalente de arena de arena chancada se muestran en la tabla 25.

Tabla 25. Equivalente de arena de arena chancada

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO				
EQUIVALENTE DE ARENA NORMAS TÉCNICAS: MTC E 114, ASTM D 2419, AASHTO T 176				
DATOS DE LA MUESTRA				
CONCEPTO :	AGREGADO FINO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO			
MUESTRA :	ARENA CHANCADA			FECHA:
CANTERA :	ROCA; KM 17+960 L. IZQ.			HECHO POR: P.D.B
UBICACIÓN :	ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.			
Nº DE ENSAYOS		1	2	PROMEDIO
Tamaño máximo (pasa malla Nº 4)		4.76	4.76	
Hora de entrada a saturación		15:23	15:25	
Hora de salida de saturación (mas 10")		15:33	15:35	
Hora de entrada a decantación		15:35	15:37	
Hora de salida de decantación (mas 20")		15:55	15:57	
Altura máxima de material fino		7.2	7.1	
Altura máxima de la arena		3.7	3.7	
Equivalente de Arena (%)		51.4	52.1	51.8
Resultado Final Considerado por Norma EG 2000 (%)		52		

El resultado de la tabla 25 nos muestra un promedio de equivalente de arena de 52% de arena chancada. Lo que indica que cumple con la exigencia de la norma.

Los resultados de la prueba límites de consistencia para la malla N°40 se muestra en la tabla 26.

Tabla 26. Límites de consistencia para la malla N° 40.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO					
LÍMITES DE CONSISTENCIA NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90					
DATOS DE LA MUESTRA					
CONCEPTO	: AGREGADO FINO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO				
MUESTRA	: ARENA CHANCADA			FECHA	:
CANTERA	: ROCA; KM 17+960 L. IZQ.			HECHO POR	: M.P.Z
UBICACIÓN	: ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.				
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)					
Nº TARA		T-13	T-12	T-01	
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	49.08	49.73	50.94	
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	46.56	46.82	47.61	
PESO DE AGUA	(gr.)	2.52	2.91	3.33	
PESO DE LA TARA	(gr.)	28.48	27.55	28.05	
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	18.08	19.27	19.56	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	13.94	15.10	17.02	
NUMERO DE GOLPES		27	20	13	
LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)					
Nº TARA					
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)				
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)				
PESO DE AGUA	(gr.)				
PESO DE LA TARA	(gr.)				
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)				
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)				

El resultado de la tabla 26 nos indica que la muestra de la arena chancada si presenta límite líquido pero no presenta limite plástico, pero cumple con la exigencia de la norma. La grafica de la tabla 26 es la siguiente.

Gráfica 05: Límites de consistencia para la malla N°40



Fuente: propio

El resultado de la gráfica 05 nos indica que la muestra de la arena chancada presenta para 25 golpes una humedad de 14.3%

Los resultados de la prueba límites de consistencia para la malla N°200 se muestra en la tabla 27

Tabla 27. Límites de consistencia para la malla N°200

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO					
LÍMITES DE CONSISTENCIA NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90					
DATOS DE LA MUESTRA					
CONCEPTO	: AGREGADO FINO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO				
MUESTRA	: ARENA CHANCADA			FECHA	:
CANTERA	: ROCA; KM 17+960 L. IZQ.			HECHO POR	: M.P.Z
UBICACIÓN	: ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.				
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)					
Nº TARA		T-10	T-22	T-20	
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	48.08	49.39	51.98	
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	45.18	46.20	48.27	
PESO DE AGUA	(gr.)	2.90	3.19	3.71	
PESO DE LA TARA	(gr.)	27.93	29.18	29.44	
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	17.25	17.02	18.83	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	16.81	18.74	19.70	
NUMERO DE GOLPES		30	18	12	
LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)					
Nº TARA					
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)				
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)				
PESO DE AGUA	(gr.)				
PESO DE LA TARA	(gr.)				
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)				
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)				

El resultado de la tabla 27 nos muestra que la muestra de la arena chancada presenta límite líquido pero no presenta límite plástico. Lo que indica que cumple con la exigencia de la norma.

La grafica de la tabla 27 es la siguiente.

Grafica 06: límites de consistencia para la malla N°200



Fuente: propio

El resultado de la gráfica 06 nos indica que la muestra de la arena chancada presenta para 25 golpes una humedad de 17.5%

Los resultados de la prueba de sales solubles totales para la muestra de la arena chancada se presenta en la tabla 28

Tabla 28. Sales solubles totales

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO				
SALES SOLUBLES TOTALES NORMAS TÉCNICAS: MTC E 219, ASTM D 1888				
DATOS DE LA MUESTRA				
CONCEPTO	: AGREGADO FINO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO			
MUESTRA	: ARENA CHANCADA	FECHA:		
CANTERA	: ROCA; KM 18+000 L. IZQ.	HECHO POR:	M.P.Z	
UBICACIÓN	: ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.			
MUESTRA		1		
Peso de Tara		165.98		
Peso tara + agua + sal		264.64		
Peso tara + sal		166.00		
Peso sal		0.020		
Peso agua		98.64		
% de sales solubles totales		0.020		
Promedio de Sales Solubles Tot. (%)		0.020		

El resultado de la tabla 28 nos indica que la muestra de la arena chancada presenta un promedio de 0.02% de sales solubles totales. Que se considera adecuado.

Los resultados de la prueba de durabilidad al sulfato de magnesio para la muestra de la arena chancada se presentan en la tabla 29.

Tabla 29. Durabilidad al sulfato de magnesio

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y ASFALTO										
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO FINO NORMAS TÉCNICAS: MTC E 209,ASTM C 88,AASHTO T 104										
DATOS DE LA MUESTRA										
CONCEPTO	: AGREGADO FINO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO									
MUESTRA	: ARENA CHANCADA									
CANTERA	: ROCA; KM 17+960 L. IZQ.							FECHA:		
UBICACIÓN	: ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.							HECHO POR:	P.D.B	
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO FINO										
TAMAÑO		PESO REQUERIDO (gr)	RECIPIENTE Nº	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA		ESCALONADO ORIGINAL	PERDIDA CORREGIDA	
						PESO	%			
3/8"	Nº 4									
Nº 4	Nº 8	100	1	100.4	96.1	4.30	4.28	24.80	1.06	
Nº 8	Nº 16	100	2	100.2	96.7	3.50	3.49	18.10	0.63	
Nº 16	Nº 30	100	3	100.3	96.7	3.60	3.59	15.10	0.54	
Nº 30	Nº 50	100	4	100.6	95.5	5.10	5.07	4.50	0.23	
TOTALES								100.0	2.46	

El resultado de la tabla 29 nos indica que la muestra de la arena chancada presenta una pérdida de durabilidad al sulfato de magnesio de 2.48.

4.1.3.- Resultados del análisis de la piedra chancada de 1/2".

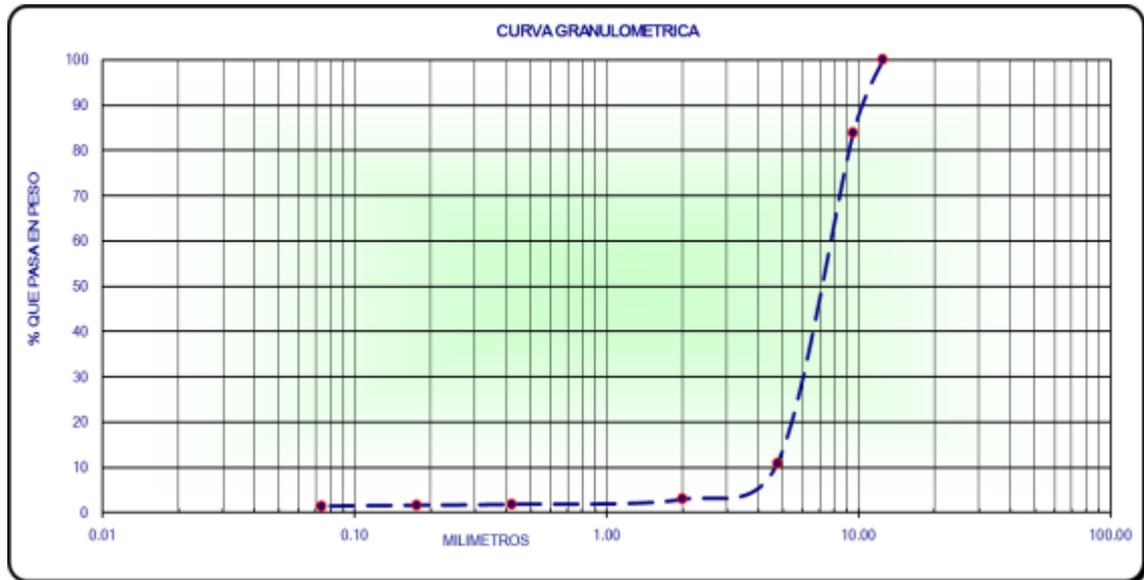
Los resultados se muestran en la Tabla 30:

Tabla 30. Granulometría de la piedra chancada (1/2")

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO								
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO GRUESO NORMAS TÉCNICAS: MTC E 204, ASTM C 136, AASHTO T 27								
DATOS DE LA MUESTRA								
CONCEPTO :	AGREGADO GRUESO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO						FECHA:	
MUESTRA :	GRAVA CHANCADA DE TM 1/2"						HECHO POR:	P.D.B- M.P.Z
CANTERA :	ROCA; KM 17+960 L. IZQ.							
UBICACIÓN :	ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.							
TAMIZ Nº (A.S.T.M.)	ABERTURA EN. mm.	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
2"	50.800						Tamaño Max. : 1/2"	
1 1/2"	38.100						Peso Total (gr.) : 6820.0	
1"	25.400						Peso de Grava (gr. :	
3/4"	19.050						Peso de Arena (gr. :	
1/2"	12.500				100.0			
3/8"	9.525	1095.0	16.1	16.1	83.9			
Nº 4	4.760	4980.0	73.0	89.1	10.9			
Nº 8	2.380	520.0	7.6	96.7	3.3		Observaciones:	
Nº 10	2.000	24.0	0.4	97.1	2.9		Muestra Nº : M - 1	
Nº 16	1.190							
Nº 20	0.840							
Nº 30	0.590							
Nº 40	0.420	74.0	1.1	98.1	1.9			
Nº 50	0.297							
Nº 80	0.177	13.0	0.2	98.3	1.7			
Nº 100	0.149							
Nº 200	0.074	14.0	0.2	98.5	1.5			
< Nº 200	-	100.0	1.5	100.0				

El resultado de la tabla 30 indica los porcentajes que pasa según las mallas establecidas de una de las pruebas realizadas a la piedra chancada .La grafica de la tabla 30 es la siguiente (ver Grafica 07).

Grafica 07: curva granulométrica de la piedra chancada



Fuente: propio

La gravedad específica de la piedra chancada se muestra en la siguiente tabla 31.

Tabla 31. Gravedad específica de la arena chancada

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO			
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO NORMAS TÉCNICAS: MTC E 206, ASTM C 127, AASHTO T 85			
DATOS DE LA MUESTRA			
CONCEPTO	AGREGADO GRUESO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO		
MUESTRA	GRAVA CHANCADA DE TM 1/2"	FECHA:	
CANTERA	ROCA; KM 17+960 L. IZQ.	HECHO POR:	P.D.B- M.P.Z
UBICACIÓN	ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.		
AGREGADO GRUESO	N° DE ENSAYO		
	1	2	
A) Peso Material Saturado Superficialmente Seco (en el aire) gr.	2250.3	1938.0	
B) Peso Material Saturado Superficialmente Seco (en agua) gr.	1414.9	1217.9	
C) Volumen de Masa + Volumen de Vacios (= A-B)	835.4	720.1	
D) Peso de Material Seco gr.	2230.0	1920.7	
E) Volumen de Masa (= C- (A-D)	815.1	702.8	
P.E Bulk (base seca) (= D/C)	2.669	2.667	2.668
P.E Bulk (base saturada) (= A/C)	2.694	2.691	
P.E Aparente (base seca) (= D/E)	2.736	2.733	
% Absorción $=((A-D)/D) \times 100$	0.910	0.901	0.906
PROMEDIO DE PESO ESPECIFICO	2.668		
PROMEDIO DE ABSORCION	0.906		

El resultado de la tabla 31 nos presenta el promedio de peso específico de 2.668 y la absorción de 0.906 de la muestra de la piedra chancada.

Las caras fracturadas de la piedra chancada se muestran en la siguiente tabla 32.

Tabla 32. Caras fracturadas de la piedra chancada

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO						
DETERMINACIÓN DE CARAS FRACTURADAS NORMAS TÉCNICAS: MTC E 210, ASTM D 5821						
DATOS DE LA MUESTRA						
CONCEPTO	: AGREGADO GRUESO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO					
MUESTRA	: GRAVA CHANCADA DE TM 1/2"					
CANTERA	: ROCA; KM 17+960 L. IZQ.				FECHA :	
UBICACIÓN	: ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.				HECHO POR :	P.D.B- M.P.Z
A.- CON UNA CARA FRACTURADA						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	C*D
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"	500	500	100.0	19.7	1970
TOTAL		500			19.7	1970
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA DE ENSAYO (%)					100.0	
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA DE ESPECIFICACIÓN (Mín. Especif.) (%)					85.0	
B- CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	C*D
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"	500	500	100.0	19.7	1970
TOTAL		500			19.7	1970
PORCENTAJE CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS (%)					100.0	
PORCENTAJE CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS DE ESPECIFICACIÓN (Mín. Especif.) (50.0	

El resultado de la tabla 32 nos indica el porcentaje de caras fracturas, con una cara fracturada con 100% y dos caras fracturadas de 100% de una muestra de la piedra chancada.

Especificación mínima para una cara fracturada 85%

Especificación mínima dos o más caras fracturadas 50%

Las partículas chatas y alargadas de la piedra chancada se muestran en la siguiente tabla 33

Tabla 33. Partículas chatas y alargadas

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y ASFALTO													
DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS NORMA TÉCNICA: ASTM D 4791													
DATOS DE LA MUESTRA													
CONCEPTO : AGREGADO GRUESO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO													
MUESTRA : GRAVA CHANCADA TM 1/2"										FECHA :			
CANTERA : ROCA; KM 17+960 L. IZQ.										HECHO POR :		P.D.B- M.P.Z	
UBICACIÓN : ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.													
MATERIAL		AGREGADO GRUESO			CHATAS			ALARGADAS			NI CHATAS, NI ALARGADAS		
TAMIZ	abertura	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO	(%)	(%) Corregido	PESO	(%)	(%) Corregido	PESO	(%)	(%) Corregido
(pulg)	(mm)												
3"	76.200												
2"	50.800												
1 1/2"	38.100												
1"	25.400												
3/4"	19.050												
1/2"	12.700			100.0									
3/8"	8.750	500.0	100.0	0.0	15.0	3.0	3.0	13.0	2.6	2.6	472.0	94.4	94.4
TOTALES		500.0					3.0			2.6	472.0		94.4
PESO TOTAL DE LA MUESTRA						(g)	500.0						
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS DE ENSAYO						(%)	5.6						
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS (Especificación Max. de Proyecto)						(%)	10.0						

El resultado de la tabla 33 nos muestra el porcentaje de partículas chatas y alargadas de 5.6% de la muestra de la piedra chancada.

Especificación máxima para partículas chatas y alargadas 10%.

Los resultados de la prueba de sales solubles totales para la muestra de la piedra chancada se muestran en la tabla 34.

Tabla 34. Sales solubles totales

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO				
SALES SOLUBLES TOTALES NORMAS TÉCNICAS: MTCE 219, ASTM D 1888				
DATOS DE LA MUESTRA				
CONCEPTO	: AGREGADO FINO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO			
MUESTRA	: GRAVA CHANCADA TM 1/2"		FECHA:	
CANTERA	: ROCA; KM 18+000 L. IZQ.		HECHO POR:	P.D.B- M.P.Z
UBICACIÓN	: ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.			
MUESTRA		1		
Peso de Tara		195.37		
Peso tara + agua + sal		300.23		
Peso tara + sal		195.38		
Peso sal		0.010		
Peso agua		104.85		
% de sales solubles totales		0.010		
Promedio de Sales Solubles Tot. (%)		0.010		

El resultado de la tabla 34 nos indica que la muestra de la piedra chancada presenta un promedio de 0.01% de sales solubles totales. Lo que indica como adecuado.

Los resultados de la prueba de abrasión los ángeles para la muestra de la piedra chancada se muestra en la tabla 35.

Tabla 35. Abrasión los ángeles

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO			
ABRASIÓN LOS ÁNGELES NORMAS TÉCNICAS: MTC E 207, ASTM C 131, AASHTO T 96			
DATOS DE LA MUESTRA			
CONCEPTO	: AGREGADO GRUESO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO		
MUESTRA	: GRAVA CHANCADA DE TM 1/2"		
CANTERA	: ROCA; KM 17+960 L. IZQ.		FECHA:
UBICACIÓN	: ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.		HECHO POR: P.D.B- M.P.Z
	MUESTRA	1	
	GRADACIÓN	"B"	
	Nº DE ESFERAS	11	
	TAMIZ (Nº)	PESO RETENIDO (grs.)	
	1"		
	3/4"		
	1/2"		
	3/8"	5.001	
	PESO TOTAL	5.001	
	MATERIAL RETENIDO TAMIZ Nº 12	3.895	
	PORCENTAJE DE DESGASTE	22.1	

El resultado de la tabla 35 nos indica que la muestra de la piedra chancada presenta un porcentaje de desgaste de 22.1%. Lo que indica como adecuado.

Los resultados de la prueba de la durabilidad al sulfato de magnesio para la muestra de la piedra chancada se presenta en la tabla 36.

Tabla 36. Durabilidad al sulfato de magnesio

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y ASFALTO										
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO GRUESO NORMAS TÉCNICAS: MTC E 209,ASTM C 88,AASHTO T 104										
DATOS DE LA MUESTRA										
CONCEPTO	: AGREGADO GRUESO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO									
MUESTRA	: GRAVA CHANCADA DE TM 1/2"									
CANTERA	: ROCA; KM 17+960 L. IZQ.							FECHA:		
UBICACIÓN	: ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.							HECHO POR:	P.D.B- M.P.Z	
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO GRUESO										
TAMAÑO	PESO REQUERIDO (gr)	RECIPIENTE Nº	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA		ESCALONADO ORIGINAL	PERDIDA CORREGIDA		
					PESO	%				
2"	1 1/2"	2000								
1 1/2"	1"	1000								
1"	3/4"	500								
3/4"	1/2"	670								
1/2"	3/8"	330	1	333.0	315.0	18.00	5.41	16.10	0.87	
3/8"	Nº4	300	2	302.4	290.3	12.10	4.00	73.00	2.92	
TOTALES								100.0	3.79	
PORCENTAJE DEL ENSAYO DEL AGREGADO GRUESO						3.79				
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE OBRA (%)						15				

El resultado de la tabla 36 nos indica que la muestra de la piedra chancada presenta 3.79%. Lo que indica como adecuado, ya que la especificación lo acepta hasta 15%

4.1.4.- Resultados del análisis de la piedra chancada de 3/4”.

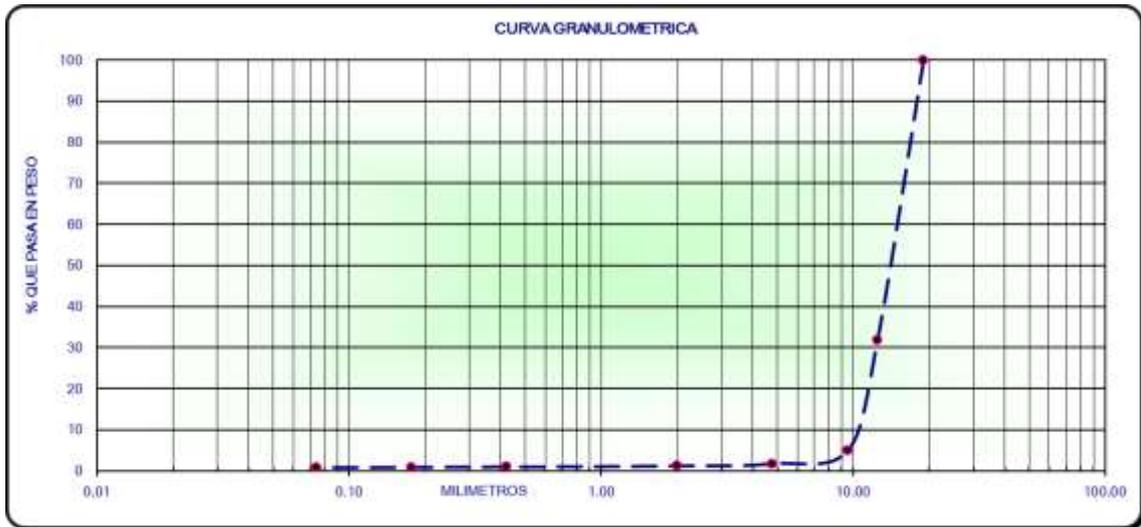
Los resultados de la granulometría de la piedra chancada se muestran a continuación (ver Tabla 37).

Tabla 37. Granulometría de la piedra chancada (3/4”)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO								
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO GRUESO NORMAS TÉCNICAS: MTC E 204, ASTM C 136, AASHTO T 27								
DATOS DE LA MUESTRA								
CONCEPTO :	AGREGADO GRUESO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO						FECHA:	
MUESTRA :	GRAVA CHANCADA DE TM 3/4"						HECHO POR:	M.P.Z -P.D.B
CANTERA :	ROCA; KM 17+960 L. IZQ.							
UBICACIÓN :	ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.							
TAMIZ Nº (A.S.T.M.)	ABERTURA EN. mm.	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
2"	50.800						Tamaño Max. : 3/4"	
1 1/2"	38.100						Peso Total (gr.) : 7000.0	
1"	25.400						Peso de Grava (gr. :	
3/4"	19.050				100.0		Peso de Arena (gr. :	
1/2"	12.500	4770.0	68.1	68.1	31.9			
3/8"	9.525	1885.0	26.9	95.1	4.9			
Nº 4	4.760	225.0	3.2	98.3	1.7			
Nº 8	2.380	35.0	0.5	98.8	1.2		Observaciones:	
Nº 10	2.000	3.0	0.0	98.8	1.2		Muestra Nº : M - 1	
Nº 16	1.190							
Nº 20	0.840							
Nº 30	0.590							
Nº 40	0.420	15.0	0.2	99.0	1.0			
Nº 50	0.297							
Nº 80	0.177	6.0	0.1	99.1	0.9			
Nº 100	0.149							
Nº 200	0.074	7.0	0.1	99.2	0.8			
< Nº 200	-	54.0	0.8	100.0				

El resultado de la tabla 37 indica los porcentajes que pasa según las mallas establecidas de una de las pruebas realizadas a la piedra chancada .La grafica de la tabla 37 es la siguiente (ver Grafica 08):

Grafica 08: curva granulométrica de la piedra chancada



Fuente: propio

La gravedad específica de la piedra chancada se muestra en la siguiente tabla 38:

Tabla 38. Gravedad específica de la piedra chancada

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO			
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO NORMAS TÉCNICAS: MTC E 206, ASTM C 127, AASHTO T 85			
DATOS DE LA MUESTRA			
CONCEPTO	AGREGADO GRUESO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO		
MUESTRA	GRAVA CHANCADA DE TM 3/4"	FECHA:	
CANTERA	ROCA; KM 17+960 L. IZQ.	HECHO POR:	M.P.Z -P.D.B
UBICACIÓN	ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.		
AGREGADO GRUESO	Nº DE ENSAYO		
	1	2	
A) Peso Material Saturado Superficialmente Seco (en el aire) gr.	1560.5	1674.8	
B) Peso Material Saturado Superficialmente Seco (en agua) gr.	979.9	1051.8	
C) Volumen de Masa + Volumen de Vacíos (= A-B)	580.6	623.0	
D) Peso de Material Seco gr.	1548.1	1661.0	
E) Volumen de Masa (= C- (A-D))	568.2	609.2	
P.E Bulk (base seca) (= D/C)	2.666	2.666	2.666
P.E Bulk (base saturada) (= A/C)	2.688	2.688	2.688
P.E Aparente (base seca) (= D/E)	2.725	2.727	2.726
% Absorción =((A-D)/D)X100	0.801	0.831	0.816
PROMEDIO DE PESO ESPECIFICO	2.666		
PROMEDIO DE ABSORCION	0.816		

El resultado de la tabla 38 nos presenta el promedio de peso específico de 2.666 y la absorción de 0.816 de la muestra de la piedra chancada. Las caras fracturadas de la piedra chancada se muestran en la siguiente tabla 39.

Tabla 39. Caras fracturadas de la piedra chancada

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO						
DETERMINACIÓN DE CARAS FRACTURADAS						
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 210, ASTM D 5821						
DATOS DE LA MUESTRA						
CONCEPTO	: AGREGADO GRUESO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO					
MUESTRA	: GRAVA CHANCADA DE TM 3/4"					
CANTERA	: ROCA; KM 17+960 L. IZQ.				FECHA	:
UBICACIÓN	: ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.				HECHO POR	: M.P.Z -P.D.B
A.- CON UNA CARA FRACTURADA						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	C*D
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1200	1200	100.0	68.1	6810
1/2"	3/8"	500	500	100.0	26.9	2690
TOTAL		1700			95.0	9500
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA DE ENSAYO (%)					100.0	
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA DE ESPECIFICACIÓN (Mín. Especif.) (%)					85.0	
B.- CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	C*D
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1200	1200	100.0	68.1	6810
1/2"	3/8"	500	500	100.0	26.9	2690
TOTAL		1700			95.0	9500
PORCENTAJE CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS (%)					100.0	
PORCENTAJE CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS DE ESPECIFICACIÓN (Mín. Especif.) (%)					50.0	

El resultado de la tabla 39 nos indica el porcentaje de caras fracturas, con una cara fracturada con 100% y dos o más caras fracturadas de 100% de la muestra de la piedra chancada.

Especificación mínima con una cara fracturada 85%

Especificación mínima para dos o más caras fracturadas 50%

Las partículas chatas y alargadas de la piedra chancada se muestran en la siguiente tabla 40.

Tabla 40. Partículas chatas y alargadas

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y ASFALTO													
DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS													
NORMA TÉCNICA: ASTM D 4791													
DATOS DE LA MUESTRA													
CONCEPTO : AGREGADO GRUESO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO													
MUESTRA : GRAVA CHANCADA TM 3/4"										FECHA :			
CANTERA : ROCA; KM 17+960 L. IZQ.										HECHO POR : M.P.Z -P.D.B			
UBICACIÓN : ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.													
MATERIAL		AGREGADO GRUESO			CHATAS			ALARGADAS			NI CHATAS, NI ALARGADAS		
TAMIZ	abertura	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO	(%)	(%) Corregido	PESO	(%)	(%) Corregido	PESO	(%)	(%) Corregido
(pulg)	(mm)												
3"	76.200												
2"	50.800												
1 1/2"	38.100												
1"	25.400												
3/4"	19.050			100.0									
1/2"	12.700	1200.0	70.6	29.4	25.0	2.1	1.5	0.0	0.0	0.0	1175.0	97.9	69.1
3/8"	8.750	500.0	29.4	0.0	17.0	3.4	1.0	10.0	2.0	0.6	473.0	94.6	27.8
TOTALES		1700.0					2.5			0.6	1648.0		96.9
PESO TOTAL DE LA MUESTRA						(g)	1700.0						
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS DE ENSAYO						(%)	3.1						
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS (Especificación Max. de Proyecto)						(%)	10.0						

El resultado de la tabla 40 nos muestra el porcentaje de partículas chatas y alargadas de 3.1% de la muestra de la piedra chancada.

Especificación máxima para partículas chatas y alargadas 10%.

Los resultados de la prueba de abrasión los ángeles para la muestra de la piedra chancada se muestra en la tabla 41.

Tabla 41. Abrasión los ángeles

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO			
ABRASIÓN LOS ÁNGELES NORMAS TÉCNICAS: MTC E 207, ASTM C 131, AASHTO T 96			
DATOS DE LA MUESTRA			
CONCEPTO	: AGREGADO GRUESO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO		
MUESTRA	: GRAVA CHANCADA DE TM 3/4"		
CANTERA	: ROCA; KM 17+960 L. IZQ.		FECHA:
UBICACIÓN	: ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.		HECHO POR: M.P.Z -P.D.B
	MUESTRA	1	
	GRADACIÓN	"B"	
	Nº DE ESFERAS	11	
	TAMIZ (Nº)	PESO RETENIDO (grs.)	
	1"		
	3/4"		
	1/2"	2.500	
	3/8"	2.500	
	PESO TOTAL	5.000	
	MATERIAL RETENIDO TAMIZ Nº 12	4.072	
	PORCENTAJE DE DESGASTE	18.6	

El resultado de la tabla 41 nos indica que la muestra de la piedra chancada presenta un porcentaje de desgaste de 18.6%. Lo que indica como adecuado.

Los resultados de la prueba de la durabilidad al sulfato de magnesio para la muestra de la piedra chancada se presenta en la tabla 42.

Tabla 42. Durabilidad al sulfato de magnesio

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y ASFALTO										
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO GRUESO NORMAS TÉCNICAS: MTC E 209,ASTM C 88,AASHTO T 104										
DATOS DE LA MUESTRA										
CONCEPTO	: AGREGADO GRUESO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO									
MUESTRA	: GRAVA CHANCADA DE TM 3/4"									
CANTERA	: ROCA; KM 18+000 L. IZQ.							FECHA:		
UBICACIÓN	: ZONA INDUSTRIAL; KM 10+700 L. IZQ.							HECHO POR:	M.P.Z -P.D.B	
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO GRUESO										
TAMAÑO	PESO REQUERIDO (gr)	RECIPIENTE Nº	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA		ESCALONADO ORIGINAL	PERDIDA CORREGIDA		
					PESO	%				
2"	1 1/2"	2000								
1 1/2"	1"	1000								
1"	3/4"	500								
3/4"	1/2"	670	1	670.2	644.8	25.40	3.79	60.10	2.28	
1/2"	3/8"	330	2	330.9	326.7	4.20	1.27	34.60	0.44	
3/8"	Nº4	300	3	300.0	296.9	3.10	1.03	3.70	0.04	
TOTALES								100.0	2.76	
						PORCENTAJE DEL ENSAYO DEL AGREGADO GRUESO		2.76		
						ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE OBRA (%)		18		

El resultado de la tabla 42 nos indica que la muestra de la piedra chancada presenta 2.76%. Lo que indica como adecuado, ya que la especificación lo acepta hasta 18%

1° DISEÑO Y GRANULOMETRÍA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

Para cumplir los controles de calidad de la mezcla asfáltica por Marshall, se estableció la siguiente dosificación de áridos en porcentaje (ver Tabla 43 y 44). La gráfica del huso granulométrico se muestran también a continuación (ver Gráfica 09):

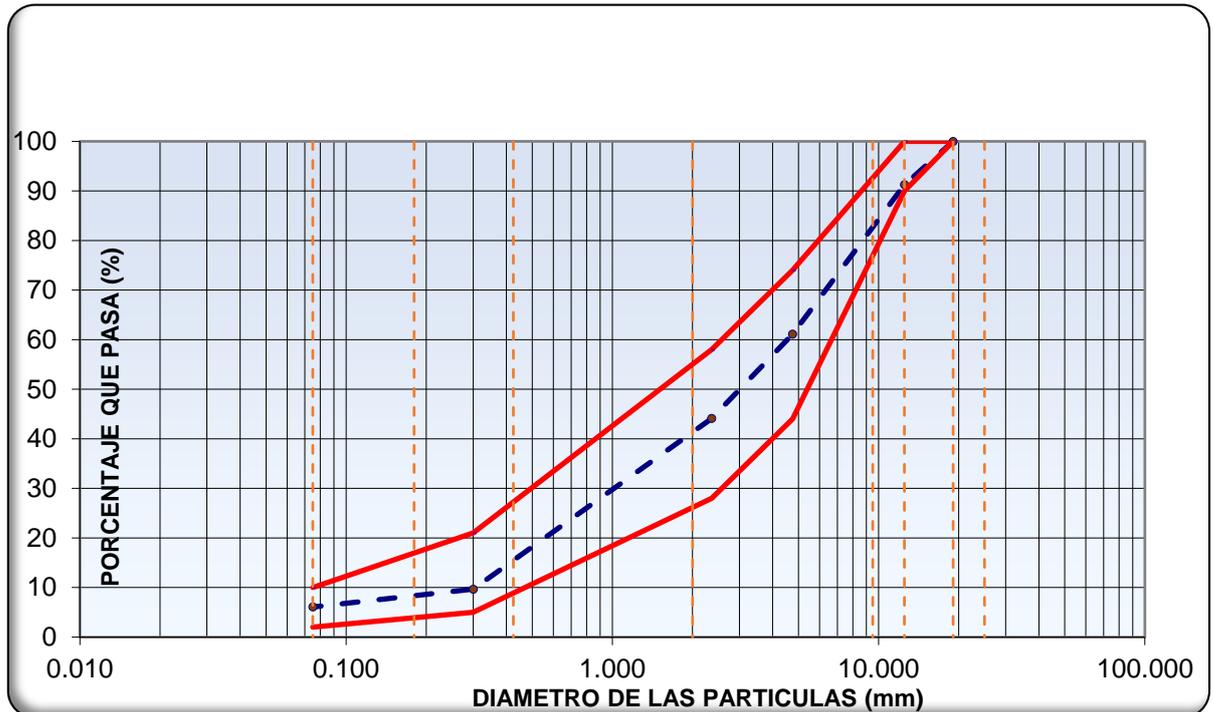
Tabla 43. Dosificación de Agregados

COMBINACION						
Agregados	GRAVA T.M.		ARENA		FILLER	MEZCLA
	3/4"	1/2"	Chanc.	Nat.	Cal	
Proporciones	40%		59.0%		1.0%	
	15.0%	25.0%	32.0%	27.0%	1.0%	100.0%

Tabla 44. Resumen de la Granulometría de los Agregado

Malla		Porcentajes pasantes (%)						Especificaciones		
Tamiz	mm.	GRAVA T.M.		ARENA		FILLER	MEZCLA	ASTM		
Agregados		3/4"	1/2"	Chanc.	Nat.	Cal		D 3515		
		40%		59.0%		1.0%		TMN 1/2"		
Proporciones		15.0%	25.0%	32.0%	27.0%	1.0%	100.0%			
1"	25.400	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0			
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		100	
1/2"	12.700	41.7	100.0	100.0	100.0	100.0	91.3	90	-	100
3/8"	9.525	7.0	81.2	100.0	100.0	100.0	81.4			
Nº 4	4.760	2.0	10.1	96.6	97.9	100.0	61.2	44	-	74
Nº 8	2.360	1.2	2.7	66.8	77.3	100.0	44.1	28	-	58
Nº 10	2.000	1.1	2.4	61.7	65.0	100.0	39.1			
Nº 16	1.180	0.0	0.0	44.4	47.2	100.0	28.0			
Nº 30	0.600	0.0	0.0	30.1	20.1	99.9	16.1			
Nº 40	0.420	0.8	1.3	25.2	14.1	99.8	13.3			
Nº 50	0.300	0.7	1.2	19.6	7.4	99.3	9.7	5	-	21
Nº 80	0.180	0.7	1.2	16.1	7.1	97.9	8.5			
Nº 100	0.150	0.0	0.0	14.5	3.8	98.4	6.7			
Nº 200	0.074	0.6	1.0	10.3	5.5	95.7	6.1	2	-	10
pasa										

Grafica 09: huso granulométrico



Fuente: propio

Se elaboraron 3 briquetas para cada porcentajes de cemento asfáltico a partir de 5.5% hasta 7.5%, con incremento de 0.5% del mismo (ver Tablas 46, 47, 48, 49 y 50).

Para poner obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico se graficaron diferentes tablas: Peso Unitario vs. %Cemento Asfáltico; %Vacíos vs. %Cemento Asfáltico; VMA vs. %Cemento Asfáltico; VFA vs. %Cemento Asfáltico; Flujo vs. %Cemento Asfáltico y Estabilidad vs. %Cemento Asfáltico (ver Tablas 51, 52, 53, 54, 55, 56).

Se realizó la Densidad Máxima Teórica Rice para los diferentes porcentajes de Cemento asfáltico a partir del 5.5% hasta el 7.5% (ver Tabla 45).

Tabla 45. Densidad máxima teórica RICE

DENSIDAD MAXIMA TEORICA RICE	
MTC E-508, ASTM D-2041, AASHTO T-209	
CONCEPTO : COMBINACIÓN DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	
CANTERA : ROCA KM 17+960 L IZQ; ARENA NATURAL CANTERA MANTACRA.	FECHA : 17/09/2015
MUESTRA : MAC	HECHO POR : M.P.Z - P.D.B
UBICACIÓN : LABORATORIO DE ASFALTO	DISEÑO : 85-100

MEZCLA ASFALTICA

ENSAYO Nº		01	02	03	04	05
CEMENTO ASFALTICO	%	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50
PESO DEL MATERIAL	gr	1496.00	1494.00	1492.00	1492.00	1490.00
PESO DEL AGUA + FRASCO RICE	gr	7461.00	7461.00	7461.00	7461.00	7461.00
PESO DEL MATERIAL + FRASCO + AGUA (en aire	gr	8957.00	8955.00	8953.00	8953.00	8951.00
PESO DEL MATERIAL + FRASCO + AGUA (en agu	gr	8347.00	8341.00	8336.00	8330.00	8325.00
VOLUMEN DEL MATERIAL	cc	610.00	614.00	617.00	623.00	626.00
PESO ESPECIFICO MAXIMO	gr/cc	2.452	2.433	2.418	2.395	2.380
TEMPERATURA DE ENSAYO	°C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C
GRAVA 3/4"	%	15.0%	15%	15%	15%	15%
GRAVA TRITURADA 1/2"	%	25.0%	25%	25%	25%	25%
ARENA TRITURADA 1/4"	%	32.0%	32%	32%	32%	32%
ARENA NATRURAL LAVADA 3/8"	%	27.0%	27%	27%	27%	27%
FILLER ROCATECH		0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
TIEMPO DE ENSAYO	Min.	10	10	10	10	10
FACTOR DE CORRECCION						

Tabla 46. Cemento asfáltico 5.5%

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO						
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559						
DATOS DE LA MUESTRA						
CONCEPTO	DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE				FECHA :	17/09/2015
CANTERA	ROCA KM 17+960 L IZQ; ARENA NATURAL CANTERA MANTACRA.				HECHO POR :	M.P.Z - P.D.B
DISEÑO	MAC				TIPO DE C.A. :	85 - 100
UBICACIÓN	LABORATORIO DE ASFALTO				% DE C.A. :	5.5
ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfaltico en peso de la mezcla	5.50	5.50	5.50		5.50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	36.75	36.75	36.75		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	56.75	56.75	56.75		
4	% de agregado filler en peso de la mezcla	1.00	1.00	1.00		
5	Peso especifico del cemento asfaltico - aparente	1.020	1.020	1.020		
6	Peso especifico agregado grueso - bulk	2.667	2.667	2.667		
7	Peso especifico agregado fino - bulk	2.637	2.637	2.637		
8	Peso especifico filler - aparente	2.379	2.379	2.379		
9	Peso de la briqueta en el aire (grs)	1242.9	1243.3	1243.4		
10	Peso de la briqueta saturada (grs)	1245.5	1246.1	1245.7		
11	Peso de la briqueta en el agua (grs)	706.7	708.3	707.3		
12	Volumen de la briqueta por desplazam (10-11)	538.80	537.80	538.40		
13	Peso especifico bulk de la briqueta	2.307	2.312	2.309		2.309
14	Peso especifico maximo ASTM D-2041(RICE)	2.452	2.452	2.452		
15	% de vacios	5.9	5.7	5.8		5.8
16	Peso especifico bulk del agregado total	2.646	2.646	2.646		
17	% vacios en el agregado mineral (VMA)	17.60	17.42	17.51		17.5
18	% de vacios llenos con asfalto (VFA)	66.25	67.08	66.69		66.7
19	Peso especifico del agregado total	2.671	2.671	2.671		
20	Asfalto absorbido por el agregado total	0.36	0.36	0.36		
21	% de asfalto efectivo	5.16	5.16	5.16		
22	Flujo (mm)	3.30	3.30	3.56		3.39
23	Lectura Celda de Carga Marshall	929.0	896.5	922.0		
24	Estabilidad sin corregir (kgs)	929	897	922		
25	Factor de estabilidad (Tabla)	0.93	0.93	0.93		
26	Estabilidad corregida: (kgs)	864	834	857		852
27	Indice de rigidez: (kgs/cm)	2617	2525	2411		2518
28	Relación Polvo Asfato	1.03	1.03	1.03		1.03

Tabla 47. Cemento asfáltico 6.0%

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO						
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559						
DATOS DE LA MUESTRA						
CONCEPTO	: DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE				FECHA :	17-09-15
CANTERA	: ROCA KM 17+960 L IZQ; ARENA NATURAL CANTERA MANTACRA.				HECHO POR :	M.P.Z - P.D.B
MUESTRA	: MAC				TIPO DE C.A.:	85 - 100
UBICACIÓN	: LABORATORIO DE ASFALTO				% DE C.A.:	6.0
ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	6.00	6.00	6.00		6.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	36.55	36.55	36.55		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	56.45	56.45	56.45		
4	% de agregado filler en peso de la mezcla	1.00	1.00	1.00	100.00	
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.020	1.020	1.020		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.667	2.667	2.667		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.637	2.637	2.637		
8	Peso específico filler - aparente	2.379	2.379	2.379		
9	Peso de la briqueta en el aire (grs)	1244.2	1242.0	1245.0		
10	Peso de la briqueta saturada (grs)	1245.5	1242.9	1246.0		
11	Peso de la briqueta en el agua (grs)	710.2	709.9	710.4		
12	Volumen de la briqueta por desplazam (10-11)	535.30	533.00	535.60		
13	Peso específico bulk de la briqueta	2.324	2.330	2.324		2.326
14	Peso específico máximo ASTM D-2041 (RICE)	2.433	2.433	2.433		
15	% de vacíos	4.5	4.2	4.5		4.4
16	Peso específico bulk del agregado total	2.646	2.646	2.646		
17	% vacíos en el agregado mineral (VMA)	17.41	17.20	17.41		17.3
18	% de vacíos llenos con asfalto (VFA)	74.29	75.39	74.33		74.7
19	Peso específico del agregado total	2.669	2.669	2.669		
20	Asfalto absorbido por el agregado total	0.34	0.34	0.34		
21	% de asfalto efectivo	5.68	5.68	5.68		
22	Flujo (mm)	3.30	3.56	3.81		3.56
23	Lectura Celda de Carga Marshall	969.0	941.0	964.5		
24	Estabilidad sin corregir (kgs)	969	941	965		
25	Factor de estabilidad (Tabla)	0.96	0.96	0.96		
26	Estabilidad corregida: (kgs)	930	903	926		920
27	Índice de rigidez: (kgs/cm)	2817	2540	2430		2596
28	Relación Polvo Asfalto	0.94	0.94	0.94		0.94

Tabla 48. Cemento asfáltico 6.5%

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO						
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559						
DATOS DE LA MUESTRA						
CONCEPTO	: DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE				FECHA :	17-09-15
CANTERA	: ROCA KM 17+960 L IZQ; ARENA NATURAL CANTERA MANTACRA.				HECHO POR :	M.P.Z - P.D.B
MUESTRA	: MAC				TIPO DE C.A. :	85 - 100
UBICACIÓN	: LABORATORIO DE ASFALTO				% DE C.A. :	6.5
ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	6.50	6.50	6.50		6.50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	36.36	36.36	36.36		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	56.14	56.14	56.14		
4	% de agregado filler en peso de la mezcla	1.00	1.00	1.00	100.00	
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.020	1.020	1.020		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.667	2.667	2.667		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.637	2.637	2.637		
8	Peso específico filler - aparente	2.379	2.379	2.379		
9	Peso de la briqueta en el aire (grs)	1245.7	1244.2	1243.8		
10	Peso de la briqueta saturada (grs)	1246.8	1245.1	1244.6		
11	Peso de la briqueta en el agua (grs)	712.5	712.6	710.5		
12	Volumen de la briqueta por desplazam (10-11)	534.3	532.5	534.1		
13	Peso específico bulk de la briqueta	2.331	2.337	2.329		2.332
14	Peso específico máximo ASTM D-2041(RICE)	2.418	2.418	2.418		
15	% de vacíos	3.6	3.4	3.7		3.6
16	Peso específico bulk del agregado total	2.646	2.646	2.646		
17	% vacíos en el agregado mineral (VMA)	17.60	17.42	17.69		17.6
18	% de vacíos llenos con asfalto (VFA)	79.63	80.62	79.11		79.8
19	Peso específico del agregado total	2.673	2.673	2.673		
20	Asfalto absorbido por el agregado total	0.39	0.39	0.39		
21	% de asfalto efectivo	6.13	6.13	6.13		
22	Flujo (mm)	3.30	3.56	3.81		3.56
23	Lectura Celda de Carga Marshall	987.0	979.0	979.0		
24	Estabilidad sin corregir (kgs)	987	979	979		
25	Factor de estabilidad (Tabla)	0.96	0.96	0.96		
26	Estabilidad corregida: (kgs)	948	940	940		942
27	Índice de rigidez: (kgs/cm)	2870	2643	2467		2660
28	Relación Polvo Asfalto	0.87	0.87	0.87		0.87

Tabla 49. Cemento asfáltico 7.0%

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO						
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559						
DATOS DE LA MUESTRA						
CONCEPTO	: DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE				FECHA :	17-09-15
CANTERA	: ROCA KM 17+960 L IZQ; ARENA NATURAL CANTERA MANTACRA.				HECHO POR :	M.P.Z - P.D.B
MUESTRA	: MAC				TIPO DE C.A. :	85 - 100
UBICACIÓN	: LABORATORIO DE ASFALTO				% DE C.A. :	7.0
ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	7.00	7.00	7.00		7.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	36.16	36.16	36.16		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	55.84	55.84	55.84		
4	% de agregado filler en peso de la mezcla	1.00	1.00	1.00	100.00	
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.020	1.020	1.020		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.667	2.667	2.667		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.637	2.637	2.637		
8	Peso específico filler - aparente	2.379	2.379	2.379		
9	Peso de la briqueta en el aire (grs)	1241.2	1243.9	1244.5		
10	Peso de la briqueta saturada (grs)	1241.6	1244.5	1245.1		
11	Peso de la briqueta en el agua (grs)	711.5	714.6	716.7		
12	Volumen de la briqueta por desplazam (10-11)	530.10	529.90	528.40		
13	Peso específico bulk de la briqueta	2.341	2.347	2.355		2.348
14	Peso específico máximo ASTM D-2041(RICE)	2.395	2.395	2.395		
15	% de vacíos	2.2	2.0	1.7		2.0
16	Peso específico bulk del agregado total	2.645	2.645	2.645		
17	% vacíos en el agregado mineral (VMA)	17.69	17.48	17.20		17.5
18	% de vacíos llenos con asfalto (VFA)	87.39	88.67	90.38		88.8
19	Peso específico del agregado total	2.665	2.665	2.665		
20	Asfalto absorbido por el agregado total	0.29	0.29	0.29		
21	% de asfalto efectivo	6.73	6.73	6.73		
22	Flujo (mm)	3.81	3.56	4.06		3.81
23	Lectura Celda de Carga Marshall	1011.5	988.0	1111.0		
24	Estabilidad sin corregir (kgs)	1012	988	1111		
25	Factor de estabilidad (Tabla)	0.96	0.96	0.96		
26	Estabilidad corregida: (kgs)	971	948	1067		995
27	Índice de rigidez: (kgs/cm)	2549	2667	2624		2613
28	Relación Polvo Asfalto	0.79	0.79	0.79		0.79

Tabla 50. Cemento asfáltico 7.5%

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO						
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559						
DATOS DE LA MUESTRA						
CONCEPTO	: DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE				FECHA :	17-09-15
CANTERA	: ROCA KM 17+960 L IZQ; ARENA NATURAL CANTERA MANTACRA.				HECHO POR :	M.P.Z - P.D.B
MUESTRA	: MAC				TIPO DE C.A. :	85 - 100
UBICACIÓN	: LABORATORIO DE ASFALTO				% DE C.A. :	7.5
ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	7.50	7.50	7.50		7.50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	35.97	35.97	35.97		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	55.53	55.53	55.53		
4	% de agregado filler en peso de la mezcla	1.00	1.00	1.00	100.00	
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.020	1.020	1.020		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.667	2.667	2.667		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.637	2.637	2.637		
8	Peso específico filler - aparente	2.379	2.379	2.379		
9	Peso de la briqueta en el aire (grs)	1243.5	1242.9	1244.3		
10	Peso de la briqueta saturada (grs)	1244.1	1243.3	1244.9		
11	Peso de la briqueta en el agua (grs)	713.7	713.6	713.4		
12	Volumen de la briqueta por desplazam (10-11)	530.40	529.70	531.50		
13	Peso específico bulk de la briqueta	2.344	2.346	2.341		2.344
14	Peso específico máximo ASTM D-2041(RICE)	2.380	2.380	2.380		
15	% de vacíos	1.5	1.4	1.6		1.5
16	Peso específico bulk del agregado total	2.645	2.645	2.645		
17	% vacíos en el agregado mineral (VMA)	18.03	17.96	18.14		18.0
18	% de vacíos llenos con asfalto (VFA)	91.67	92.10	90.95		91.6
19	Peso específico del agregado total	2.669	2.669	2.669		
20	Asfalto absorbido por el agregado total	0.34	0.34	0.34		
21	% de asfalto efectivo	7.19	7.19	7.19		
22	Flujo (mm)	4.32	4.32	4.32		4.32
23	Lectura Celda de Carga Marshall	1039.0	1063.0	1060.5		
24	Estabilidad sin corregir (kgs)	1039	1063	1061		
25	Factor de estabilidad (Tabla)	0.96	0.96	0.96		
26	Estabilidad corregida: (kgs)	997	1020	1018		1012
27	Índice de rigidez: (kgs/cm)	2310	2363	2358		2344
28	Relación Polvo Asfalto	0.74	0.74	0.74		0.74

Gráficos obtenido del ensayo Marshall (ASTM 1559)
Peso unitario (gr./cc) vs cemento asfaltico (%)

Tabla 51. Peso unitario (gr./cc) vs cemento asfaltico (%)

ASFALTO (%)	P.U grs/cc
5.5	2.309
6.0	2.326
6.5	2.332
7.0	2.348
7.5	2.344

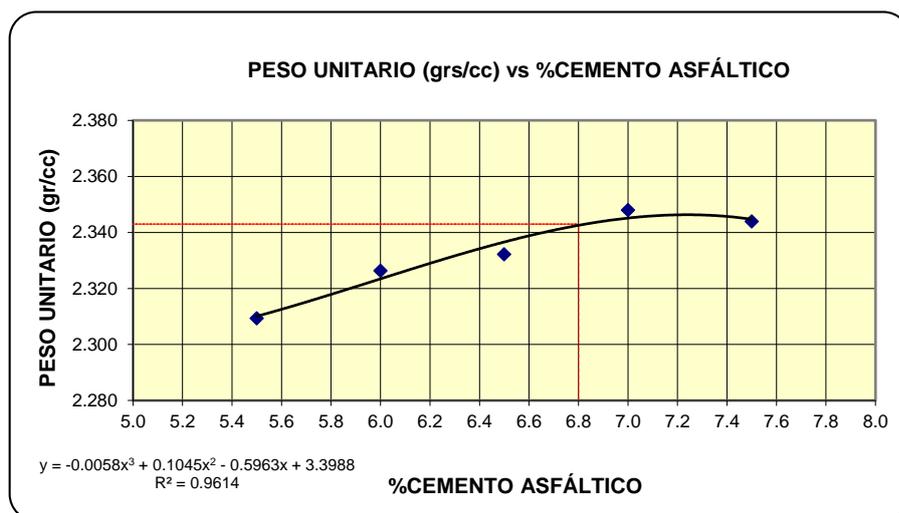


Tabla 52. Vacíos (%) vs cemento asfáltico (%)

ASFALTO (%)	VACÍOS (%)
5.5	5.835
6.0	4.393
6.5	3.552
7.0	1.956
7.5	1.521

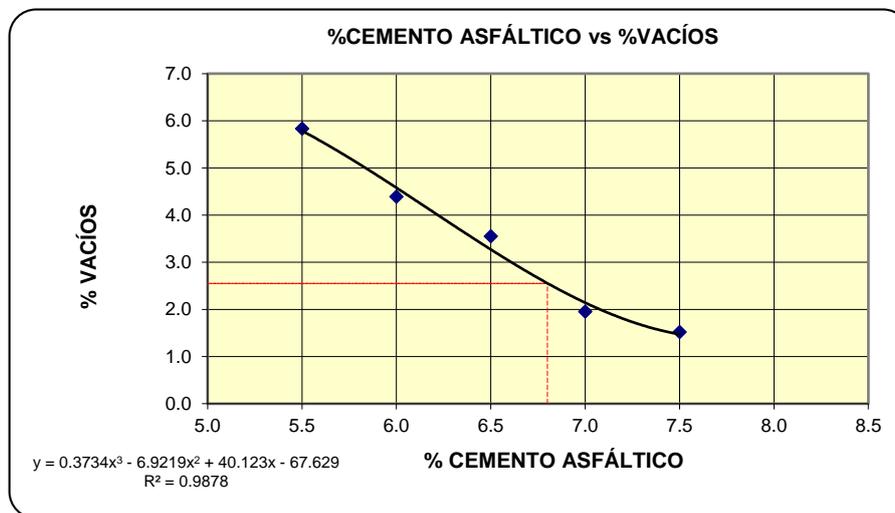


Tabla 53 . V.M.A (%) vs cemento asfáltico (%)

ASFALTO (%)	VMA (%)
5.5	17.509
6.0	17.341
6.5	17.571
7.0	17.457
7.5	18.041

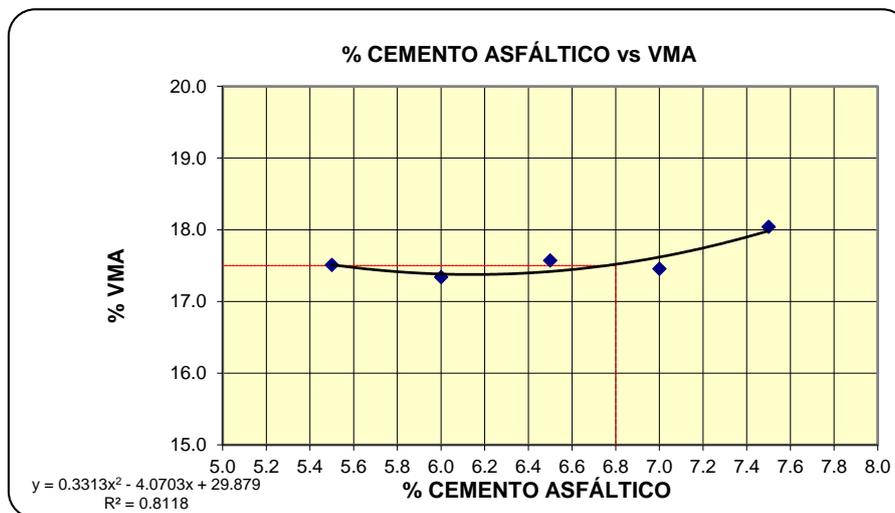


Tabla 54. V.F.A. (%) vs cemento asfáltico (%)

ASFALTO (%)	VFA (%)
5.5	66.67
6.0	74.67
6.5	79.79
7.0	88.81
7.5	91.57

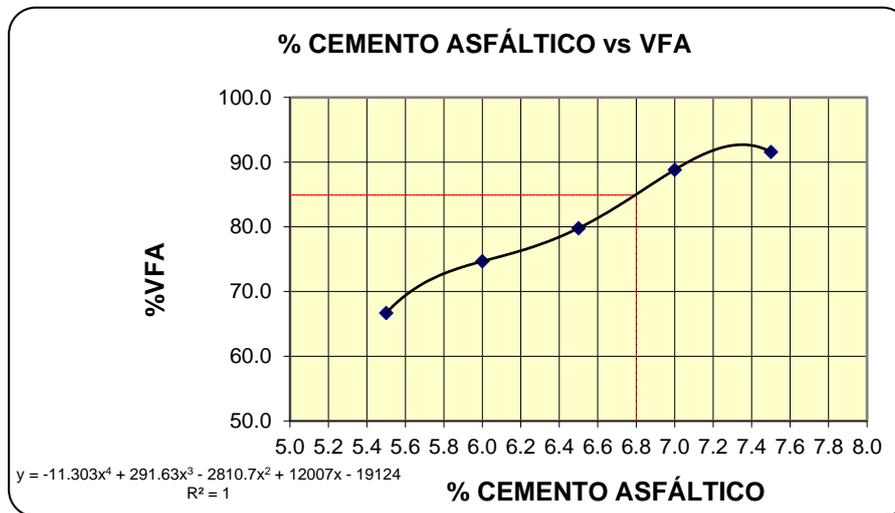


Tabla 55. Flujo (mm) vs cemento asfáltico (%)

ASFALTO (%)	FLUJO (mm)
5.5	3.387
6.0	3.556
6.5	3.556
7.0	3.810
7.5	4.318

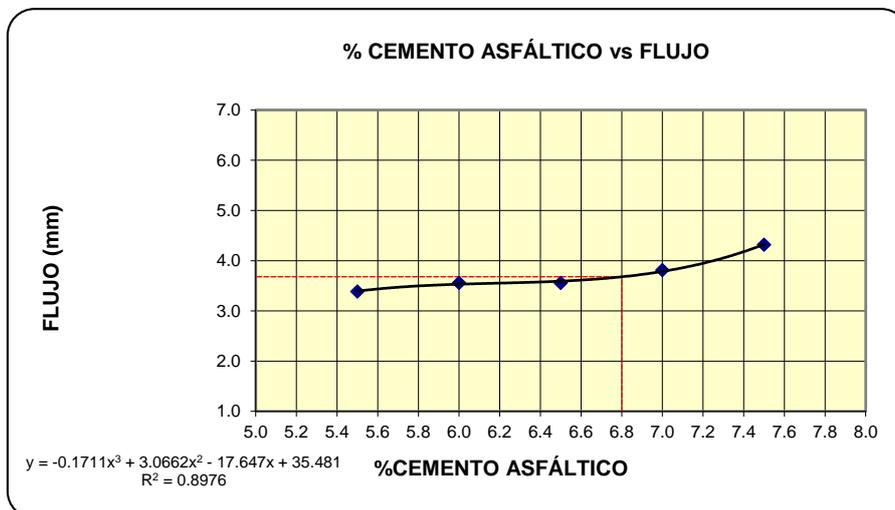
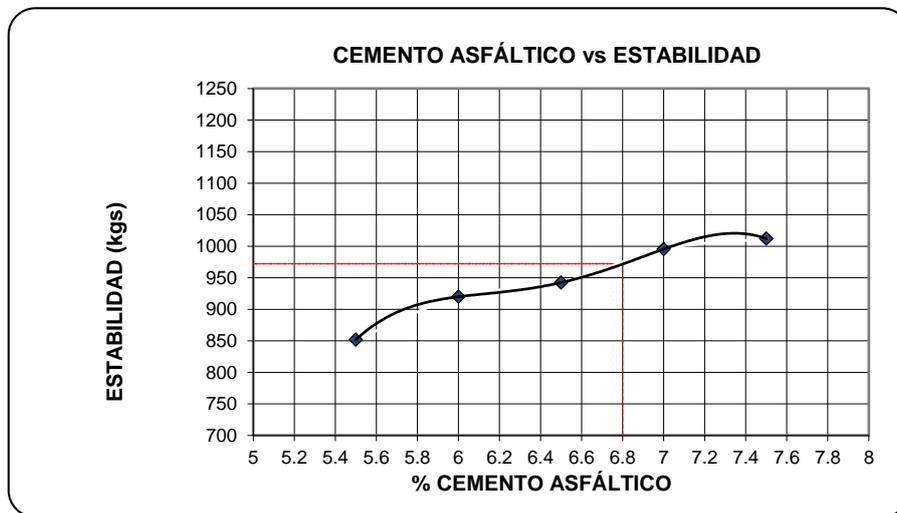


Tabla 56. Estabilidad (kg) vs cemento asfáltico (%)

ASFALTO (%)	ESTABILIDAD (kgs)
5.5	851.73
6.0	919.84
6.5	942.40
7.0	995.36
7.5	1012.00



2° DISEÑO Y GRANULOMETRÍA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

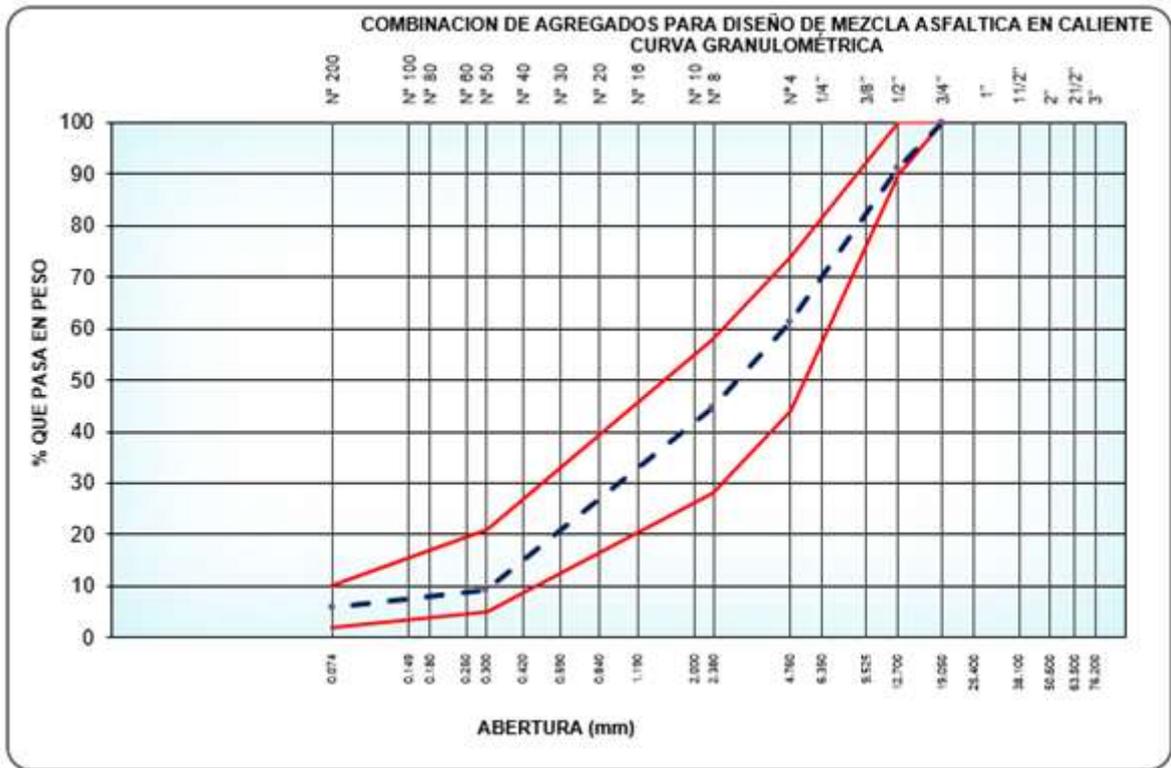
Para cumplir los controles de calidad de la mezcla asfáltica por Marshall, se estableció la siguiente dosificación en la siguiente tabla (ver tabla 57).

La gráfica del huso granulométrico se muestra también a continuación (ver Gráfica 10):

Tabla 57. Resumen de la Granulometría de los Agregado y Dosificación de Agregados

Malla		Porcentajes pasantes (%)						Especificaciones		
Tamiz	mm.	GRAVA T.M.		ARENA		FILLER	MEZCLA	ASTM		
Agregados		3/4"	1/2"	Chanc.	Nat.	Cal		D 3515		
Proporciones		40%		59.0%		1.0%		TMN 1/2"		
		15.0%	25.0%	27.0%	32.0%	1.0%	100.0%			
1"	25.400	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0			
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		100	
1/2"	12.700	41.7	100.0	100.0	100.0	100.0	91.3	90	-	100
3/8"	9.525	7.0	81.2	100.0	100.0	100.0	81.4			
Nº 4	4.760	2.0	10.1	96.6	97.9	100.0	61.2	44	-	74
Nº 8	2.360	1.2	2.7	66.8	77.3	100.0	44.6	28	-	58
Nº 10	2.000	1.1	2.4	61.7	65.0	100.0	39.2			
Nº 40	0.420	0.8	1.3	25.2	14.1	99.8	12.8			
Nº 50	0.300	0.7	1.2	19.6	7.4	99.3	9.1	5	-	21
Nº 80	0.180	0.7	1.2	16.1	7.1	97.9	8.0			
Nº 200	0.074	0.6	1.0	10.3	5.5	95.7	5.8	2	-	10
pasa										

Grafica 10: Huso granulométrico de los agregados.



Fuente: propio

Se elaboraron 3 briquetas para cada porcentajes de cemento asfáltico a partir de 5.5% hasta 7.5%, con incremento de 0.5% del mismo (ver Tablas 58, 59, 60, 61 y 62).

Para poner obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico se graficaron diferentes tablas: Peso Unitario vs. %Cemento Asfáltico; %Vacíos vs. %Cemento Asfáltico; VMA vs. %Cemento Asfáltico; VFA vs. %Cemento Asfáltico; Flujo vs. %Cemento Asfáltico y Estabilidad vs. %Cemento Asfáltico (ver Tablas 63, 64, 65, 66, 67, 68).

Tabla 58. Cemento asfáltico 5.5%

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS					
ENSAYO MARSHALL ASTM D 1559					
DATOS DE LA MUESTRA					
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	HECHO POR :	P.D.C.B. - M.J.P.Z		
TRAMO	IMPERIAL - PAMPAS	FECHA :	17/09/2015		
UBICACIÓN	LABORATORIO DE ASFALTO	PEN :	80 - 100		
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559					
N° DE BRIQUETA		01	02	03	
01	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA %	5.50	5.50	5.50	
02	AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > N° %	36.67	36.67	36.67	
03	AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < N° 4 %	56.89	56.89	56.89	
04	CAL HIDRATADA EN PESO DE LA MEZCLA %	0.945	0.945	0.945	
05	PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE	1.020	1.020	1.020	
06	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK	2.667	2.667	2.667	
07	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.637	2.637	2.637	
08	PESO ESPECIFICO DE LA CAL HIDRATADA - APARENTE	2.365	2.365	2.365	
09	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE gr.	1242.5	1244.0	1242.6	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE SSS gr.	1244.8	1246.4	1244.4	
11	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA gr.	708.3	707.8	708.3	
12	VOLUMEN DE LA BRIQUETA cc	536.5	538.6	536.1	Promedio
13	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.316	2.310	2.318	2.315
14	PESO ESPECIFICO MÁXIMO (RICE)	2.443	2.443	2.443	
15	VACÍOS (17-16)*100/17 %	5.2	5.5	5.1	5.3
16	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/6	2.646	2.646	2.646	
17	V.M.A. 100-(2+3+4)*(16/19) %	17.3	17.5	17.2	17.3
18	VACÍOS LLENOS CON C.A. 100*(20-18)/20 %	69.9	68.6	70.4	69.6
19	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1	2.659	2.659	2.659	
20	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*5*(2. %	0.19	0.19	0.19	
21	CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO 1-(23*(2+3+4)/100 %	5.32	5.32	5.32	
22	FLUJO mm	3.56	3.30	3.30	3.39
23	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg.	1004.5	920.0	918.0	
24	FACTOR DE ESTABILIDAD K	0.93	0.93	0.93	
25	ESTABILIDAD CORREGIDA Kg.	934	856	854	881.3
26	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO Kg./cm.	2624	2594	2588	2602
27	RELACIÓN POLVO / ASFALTO	1.09	1.09	1.09	1.09

Tabla 59. Cemento asfáltico 6.0%

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS						
ENSAYO MARSHALL ASTM D 1559						
DATOS DE LA MUESTRA						
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	HECHO POR :	P.D.C.B. - M.J.P.Z			
TRAMO	IMPERIAL - PAMPAS	FECHA :	17/09/2015			
UBICACIÓN	LABORATORIO DE ASFALTO	PEN :	80 - 100			
<i>ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559</i>						
N° DE BRIQUETA			01	02	03	
01	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.00	6.00	6.00	
02	AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > N° 4	%	36.47	36.47	36.47	
03	AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < N° 4	%	56.59	56.59	56.59	
04	CAL HIDRATADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.940	0.940	0.940	
05	PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE		1.020	1.020	1.020	
06	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.667	2.667	2.667	
07	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.637	2.637	2.637	
08	PESO ESPECIFICO DE LA CAL HIDRATADA - APARENTE		2.365	2.365	2.365	
09	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr.	1243.0	1243.2	1244.6	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE + PARAFINA	gr.	1243.8	1244.3	1245.5	
11	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA + PARAFINA	gr.	712.2	708.0	712.5	
12	VOLUMEN DE LA BRIQUETA	cc	531.6	536.3	533.0	Promedio
13	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA		2.338	2.318	2.335	2.330
14	PESO ESPECIFICO MÁXIMO (RICE)		2.428	2.428	2.428	
15	VACÍOS (17-16)*100/17	%	3.7	4.5	3.8	4.0
16	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/6)+(3/7)+		2.646	2.646	2.646	
17	V.M.A. 100-(2+3+4)*(16/19)	%	16.9	17.7	17.1	17.2
18	VACÍOS LLENOS CON C.A. 100*(20-18)/20	%	78.2	74.5	77.7	76.8
19	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.663	2.663	2.663	
20	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*5*(22-19))/2	%	0.25	0.25	0.25	
21	CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO 1-(23*(2+3+4)/100)	%	5.77	5.77	5.77	
22	FLUJO	mm	3.56	3.56	3.56	3.56
23	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg.	1049.0	893.0	1035.0	
24	FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.96	0.96	0.96	
25	ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg.	1007	857	994	952.7
26	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO	Kg./cm.	2829	2407	2792	2676
27	RELACIÓN POLVO / ASFALTO		1.01	1.01	1.01	1.01

Tabla 60. Cemento asfáltico 6.5%

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS						
ENSAYO MARSHALL ASTM D 1559						
DATOS DE LAMUESTRA						
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	HECHO POR :	P.D.C.B. - M.J.P.Z			
TRAMO	IMPERIAL - PAMPAS	FECHA :	17/09/2015			
UBICACIÓN	LABORATORIO DE ASFALTO	PEN :	80 - 100			
<i>ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559</i>						
Nº DE BRIQUETA			01	02	03	
01	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.50	6.50	6.50	
02	AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > N° 4	%	36.28	36.28	36.28	
03	AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < N° 4	%	56.29	56.29	56.29	
04	CAL HIDRATADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.935	0.935	0.935	
05	PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE		1.020	1.020	1.020	
06	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.667	2.667	2.667	
07	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.637	2.637	2.637	
08	PESO ESPECIFICO DE LA CAL HIDRATADA - APARENTE		2.365	2.365	2.365	
09	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr.	1241.6	1240.6	1241.2	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE + PARAFINA	gr.	1242.6	1241.5	1242.0	
11	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA + PARAFINA	gr.	713.4	714.0	712.9	
12	VOLUMEN DE LA BRIQUETA	cc	529.2	527.5	529.1	Promedio
13	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA		2.346	2.352	2.346	2.348
14	PESO ESPECIFICO MÁXIMO (RICE)		2.412	2.412	2.412	
15	VACÍOS $(17-16)*100/17$	%	2.4	2.5	2.7	2.5
16	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL $(2+3+4)/((2/6)+(3/6))$		2.646	2.646	2.646	
17	V.M.A. $100-(2+3+4)*(16/19)$	%	17.1	16.9	17.1	17.0
18	VACÍOS LLENOS CON C.A. $100*(20-18)/20$	%	86.0	85.2	84.2	85.1
19	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL $(2+3+4)/((100/17)-(1/5))$		2.664	2.664	2.664	
20	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL $(100*5*(22-1)/100)$	%	0.26	0.26	0.26	
21	CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO $1-(23*(2+3+4)/100)$	%	6.26	6.26	6.26	
22	FLUJO	mm	3.56	3.56	3.81	3.64
23	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg.	1008.0	981.5	955.5	
24	FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.96	0.96	0.96	
25	ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg.	968	942	917	942.3
26	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO	Kg./cm.	2719	2646	2407	2591
27	RELACIÓN POLVO / ASFALTO		0.93	0.93	0.93	0.93

Tabla 61. Cemento asfáltico 7.0%

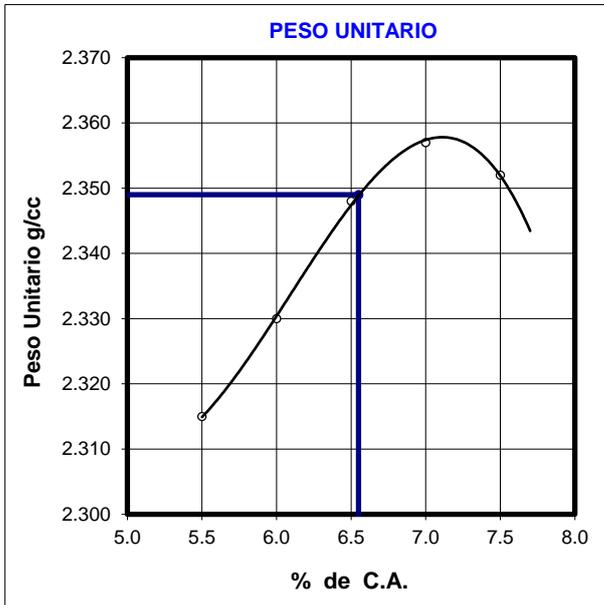
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS					
ENSAYO MARSHALL ASTM D 1559					
DATOS DE LA MUESTRA					
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	HECHO POR :	P.D.C.B. - M.J.P.Z		
TRAMO	IMPERIAL - PAMPAS	FECHA :	17/09/2015		
UBICACIÓN	LABORATORIO DE ASFALTO	PEN :	80 - 100		
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559					
N° DE BRIQUETA		01	02	03	
01	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA %	7.00	7.00	7.00	
02	AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > N° 4 %	36.08	36.08	36.08	
03	AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < N° 4 %	55.99	55.99	55.99	
04	CAL HIDRATADA EN PESO DE LA MEZCLA %	0.930	0.930	0.930	
05	PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE	1.020	1.020	1.020	
06	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK	2.667	2.667	2.667	
07	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.637	2.637	2.637	
08	PESO ESPECIFICO DE LA CAL HIDRATADA - APARENTE	2.365	2.365	2.365	
09	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE gr.	1240.1	1240.4	1238.9	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE + PARAFINA gr.	1240.7	1240.8	1239.7	
11	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA + PARAFINA gr.	713.1	716.5	713.6	
12	VOLUMEN DE LA BRIQUETA cc	527.6	524.3	526.1	Promedio
13	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.350	2.366	2.355	2.357
14	PESO ESPECIFICO MÁXIMO (RICE)	2.394	2.394	2.394	
15	VACÍOS (17-16)*100/17 %	1.8	1.2	1.6	1.5
16	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL $(2+3+4)/((2/6)+(3/7))$	2.646	2.646	2.646	
17	V.M.A. $100-(2+3+4)*(16/19)$ %	17.4	16.8	17.2	17.2
18	VACÍOS LLENOS CON C.A. $100*(20-18)/20$ %	89.7	92.9	90.7	91.1
19	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL $(2+3+4)/((100/17)-(1/5))$	2.664	2.664	2.664	
20	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL $(100*5*(22-19))$ %	0.26	0.26	0.26	
21	CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO $1-(23*(2+3+4)/100)$ %	6.76	6.76	6.76	
22	FLUJO mm	4.1	4.1	4.1	4.06
23	ESTABILIDAD SIN CORREGIR Kg.	990.0	1012.5	917.5	
24	FACTOR DE ESTABILIDAD K	0.96	0.96	0.96	
25	ESTABILIDAD CORREGIDA Kg.	950	972	881	934.3
26	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO Kg/cm.	2340	2394	2170	2301
27	RELACIÓN POLVO / ASFALTO	0.86	0.86	0.86	0.86

Tabla 62. Cemento asfáltico 7.5%

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS						
ENSAYO MARSHALL ASTM D 1559						
DATOS DE LA MUESTRA						
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	HECHO POR :	P.D.C.B. - M.J.P.Z			
TRAMO	IMPERIAL - PAMPAS	FECHA :	17/09/2015			
UBICACIÓN	LABORATORIO DE ASFALTO	PEN :	80 - 100			
<i>ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559</i>						
Nº DE BRIQUETA			01	02	03	
01	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	7.50	7.50	7.50	
02	AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > N°	%	35.89	35.89	35.89	
03	AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < N° 4	%	55.69	55.69	55.69	
04	CAL HIDRATADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.925	0.925	0.925	
05	PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE		1.020	1.020	1.020	
06	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.667	2.667	2.667	
07	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.637	2.637	2.637	
08	PESO ESPECIFICO DE LA CAL HIDRATADA - APARENTE		2.365	2.365	2.365	
09	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr.	1236.5	1235.9	1238.1	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE + PARAFINA	gr.	1237.0	1236.5	1238.5	
11	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA + PARAFINA	gr.	710.9	711.3	712.6	
12	VOLUMEN DE LA BRIQUETA	cc	526.1	525.2	525.9	Promedio
13	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA		2.350	2.353	2.354	2.352
14	PESO ESPECIFICO MÁXIMO (RICE)		2.365	2.365	2.365	
15	VACÍOS (17-16)*100/17	%	0.6	0.5	0.4	0.5
16	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/		2.646	2.646	2.646	
17	V.M.A. 100-(2+3+4)*(16/19)	%	17.9	17.7	17.7	17.8
18	VACÍOS LLENOS CON C.A. 100*(20-18)/20	%	96.6	97.2	97.7	97.2
19	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-		2.647	2.647	2.647	
20	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*5*(z	%	0.01	0.01	0.01	
21	CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO 1-(23*(2+3+4)/10l	%	7.49	7.49	7.49	
22	FLUJO	mm	4.06	4.57	4.32	4.32
23	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg.	916.5	978.0	1003.0	
24	FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.96	0.96	0.96	
25	ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg.	880	939	963	927.3
26	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO	Kg./cm.	2167	2055	2229	2150
27	RELACIÓN POLVO / ASFALTO		0.77	0.77	0.77	0.77

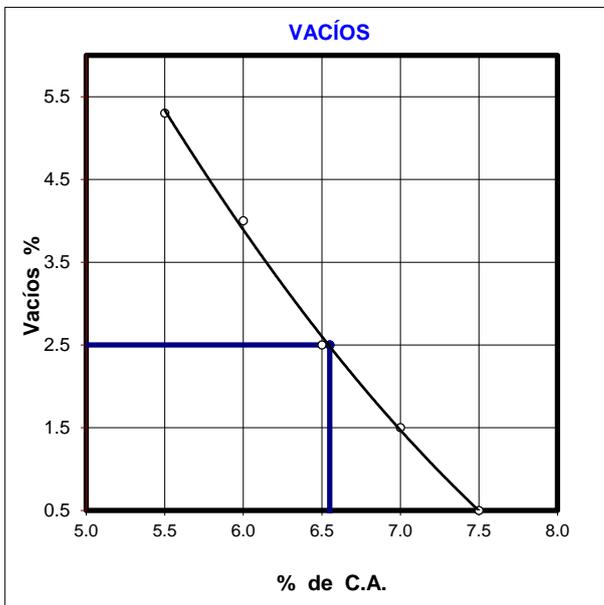
GRÁFICOS ENSAYO MARSHALL (ASTM 1559)

Tabla 63. Peso unitario (gr./cc) vs cemento asfáltico (%)



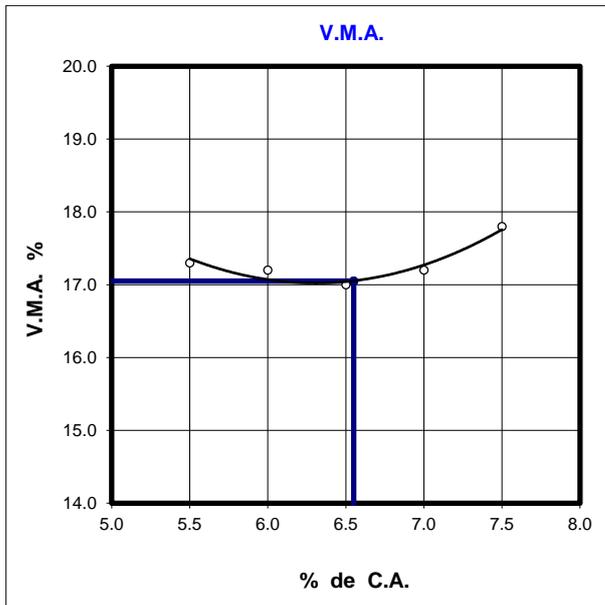
ASFALTO (%)	PESO UNITARIO (gr/cc)
5.5	2.315
6	2.330
6.5	2.348
7	2.357
7.5	2.352

Tabla 64. Vacíos (%) vs cemento asfáltico (%)



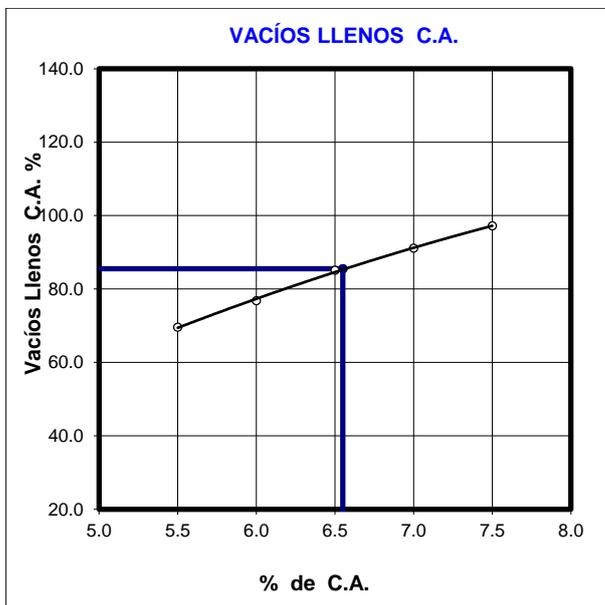
ASFALTO (%)	VACIOS (%)
5.5	5.3
6	4.0
6.5	2.5
7	1.5
7.5	0.5

Tabla 65. V.M.A (%) vs cemento asfáltico (%)



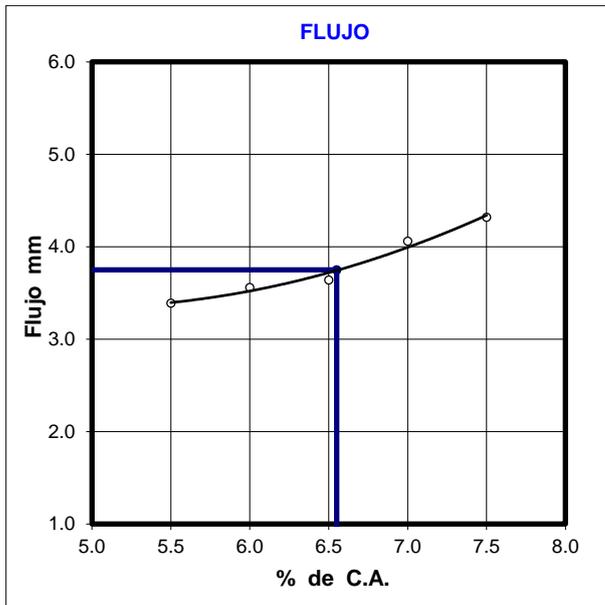
ASFALTO (%)	V.M.A.
5.5	17.3
6	17.2
6.5	17.0
7	17.2
7.5	17.8

Tabla 66. V.F.A. (%) vs cemento asfáltico (%)



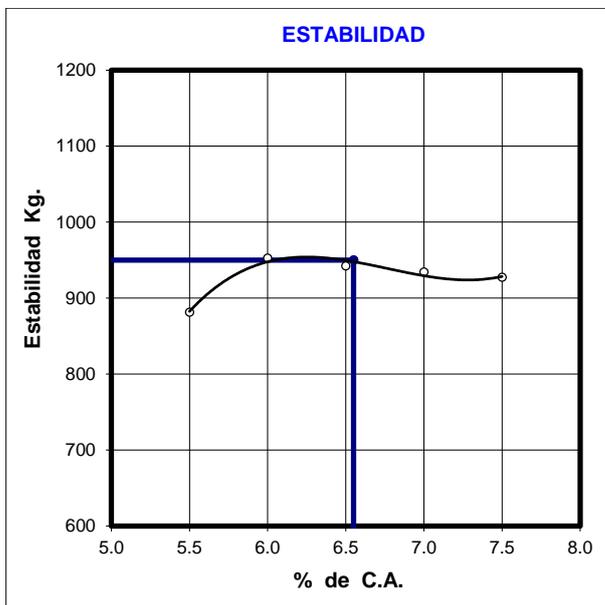
ASFALTO (%)	V.F.A.
5.5	69.6
6	76.8
6.5	85.1
7	91.1
7.5	97.2

Tabla 67. Flujo (mm) vs cemento asfáltico (%)



ASFALTO (%)	FLUJO
5.5	3.39
6	3.56
6.5	3.64
7	4.06
7.5	4.32

Tabla 68. Estabilidad (kg) vs cemento asfáltico (%)



ASFALTO (%)	ESTABILIDAD
5.5	881.3
6	952.7
6.5	942.3
7	934.3
7.5	927.3

4.1.5 Resultados de la variable independiente

Después de obtener el óptimo % de Cemento Asfáltico para el primer ensayo de la mezcla asfáltica en caliente, se verifican si los datos obtenidos cumplen con las especificaciones (ver Tabla 69).

Tabla 69. Primer diseño de la mezcla asfáltica en caliente

MEZCLA ASFALTICA			
ESPECIFICACIONES MARSHALL	OBTENIDO	ESPECIFICACION	EVALUACIÓN
OPTIMO CONTENIDO DE C.A.	6.8		PROPUESTA
PESO UNITARIO (grs/cc)	2.343		
VACÍOS (%)	2.6	2--4	APROBADO
V.M.A. (%)	17.5	MIN 14	APROBADO
VFA (%)	84.9		
FLUJO (mm)	3.7	2--4	APROBADO
ESTABILIDAD (kgs)	972	MIN 815	APROBADO
INDICE DE RIGIDEZ (kgs/cm)	2655	1700--4000	APROBADO

Para el segundo ensayo de diseño de mezcla asfáltica en caliente, también se obtuvo el óptimo % de Cemento Asfáltico y se verificó si los datos obtenidos cumplen con las especificaciones (ver Tabla 70).

Tabla 70. Segundo diseño de la mezcla asfáltica en caliente

MEZCLA ASFÁLTICA			
ESPECIFICACIONES MARSHALL	OBTENIDO	ESPECIFICACION	EVALUACIÓN
OPTIMO CONTENIDO DE C.A.	6.6		PROPUESTA
PESO UNITARIO (grs/cc)	2.349		
VACÍOS (%)	2.5	2--4	APROBADO
V.M.A. (%)	17.1	MIN 14	APROBADO
VFA (%)	85.5		
FLUJO (mm)	3.8	2--4	APROBADO
ESTABILIDAD (kgs)	950	MIN 815	APROBADO
INDICE DE RIGIDEZ (kgs/cm)	2533	1700--4000	APROBADO

4.2 Análisis de la Variable Dependiente

Ensayo de la Rueda de Hamburgo:

Tiene como dimensión la calidad y como indicador la Saturación.

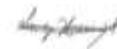
Se ha realizado los siguientes ensayos:

1º ENSAYO DE RUEDA CARGADA DE HAMBURGO

 EXPEDIENTE R.H. / LMA 049.0015-LAB.TDM.ASFALTOS	
REPORTE DE ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO	
PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS	
AASHTO T - 324	
PROYECTO : CARRETERA DV. IMPERIAL - PAMPA KM. REF. C.P. DE COLLPATAMBO - PAZOS - TAYACAJA UBICACIÓN : HUANCAVELICA SOLICITANTE : COSAPI REFERENCIA : DATOS DE DISEÑO PROPORCIONADO POR EL CUENTE CON ASFALTO 85/100 PETROPERU ADITIVADO CON MORLIFE 2200 FECHA : 24.07.2015	
DETALLE DE LA MEZCLA	
AGREGADO : RM 17-900 / MANTACRA	TIPO DE COMPACTACION : COMPACT. GIRATORIO
FILLER : ---	PORCENTAJE DE VACIOS : 7.6 %
ASFALTO : ASFALTO 85/100 PETROPERU	FECHA DE PRODUCCION : 30/07/2015
DENSIDAD MAXIMA TEORICA : 2421 Kg/m ³	
DATOS INICIALES DE LA PRUEBA	
PAUSA : 83	TEMPERATURA DE ENSAYO : 50 °C
TIPO DE MUESTRA : Doble Nivel	NUMERO MAX. PASADAS : 20000 pasadas
NOMBRE DE LA MUESTRA : ---	PROFUNDIDAD MAXIMA : 12.5 mm
DIAMETRO : 150.0 mm	VELOCIDAD DE LAS RUEDAS : 52 pasadas/mín
ESPESOR : 80.0 mm	OPERADOR : G.V.
RESULTADOS FINALES	
PROFUNDIDAD FINAL RUT : 11.72 mm	PASADAS : 8664
TIPO DE REGO TERMINO : AGUA	
FEEDBACK UTILIZADO : EN EL TANQUE	
TEMPERATURA MAXIMA : 50.0 °C	
TEMPERATURA MINIMA : 48.8 °C	
OBSERVACIONES	
* ESTA PRUEBA FUE REALIZADA EN CONCORDANCIA CON LA NORMA AASHTO T.324	




Guillermo Voz B.
Laboratorio


Wendy Horencia
Jefe del Área Técnica

Fecha de reporte : Lima, 01 de agosto del 2015

EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO

ASF-8-TEC-089-V01

2º ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO



EXPEDIENTE R.H. / LMA
044-2015-LAB TDM ASFALTOS

REPORTE DE ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS AASHTO T - 324

PROYECTO : CARRETERA DV. IMPERIAL - PAMPA KM. REF. C.P. DE COLLPATAMBO - PAZOS - TAYACAJA
 UBICACION : HUANCAMELICA
 SOLICITANTE : COSAPI
 REFERENCIA : DATOS DE DISEÑO PROPORCIONADO POR EL CLIENTE CON ASFALTO 85/100 PETROPERU ADITIVADO CON MORLIFE 2200
 FECHA : 24.07.2015

DETALLE DE LA MEZCLA

AGREGADO	: KM 17-990 / MANTACRA	TIPO DE COMPACTACION	: COMPACT. GIRATORIO
FILLER	: ---	PORCENTAJE DE VACIOS	: 3.3 %
ASFALTO	: ASFALTO 85/100 PETROPERU	FECHA DE PRODUCCION	: 30/07/2015
DENSIDAD MAXIMA TEORICA	: 2421 Kg/m3		

DATOS INICIALES DE LA PRUEBA

PRUEBA	: 44	TEMPERATURA DE ENSAYO	: 50 °C
TIPO DE MUESTRA	: Doble Núcleo	NUMERO MAX. PASADAS	: 20000 pasadas
NOMBRE DE LA MUESTRA	: ---	PROFUNDIDAD MAXIMA	: 12.5 mm
DIAMETRO	: 150.0 mm	VELOCIDAD DE LAS RUEDAS	: 52 pasadas /min
ESPESOR	: 60.0 mm	OPERADOR	: G.V.

RESULTADOS FINALES

PROFUNDIDAD FINAL RUT.	: 12.56 mm	PASADAS	: 19974
TIPO DE MEDIO TERMICO	: AGUA		
FEEDBACK UTILIZADO	: EN EL TANQUE		
TEMPERATURA MAXIMA	: 50.7 °C		
TEMPERATURA MINIMA	: 50.0 °C		

OBSERVACIONES
 • ESTA PRUEBA FUE REALIZADA EN CONCORDANCIA CON LA NORMA AASHTO T-324



Guillermo Vora B.
 Guillermo Vora B.
 Laboratorista

Wendy Horencia
 Wendy Horencia
 Jefe del Área Técnica

Fecha de reporte : Lima, 03 de agosto del 2015

En el primer ensayo de la Rueda de Hamburgo la muestra solo llego a 9,664 de 20,000 pasadas, no llegando a concluir el ensayo.

Se hizo una variación de la primera granulometría Marshall Cambiando la cantidad de arena chancada (32%) que rigidizaba la carpeta asfáltica, es por ello que para el segundo ensayo se disminuyó la arena chancada a 27% y se aumentó la arena natural de 27% a 32%.

Para el segundo ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo la muestra llego a 19,974 de 20,000 pasadas, faltándole solo 26 pasadas para finalizar el ensayo.

4.3 Contratación de Hipótesis

En la contratación de hipótesis se ha tomado en cuenta la incidencia del buen diseño del Método Marshall, es decir, si este era efectiva ante una evaluación de desempeño por deformación permanente en condiciones de humedad inducida (La rueda cargada de Hamburgo).

El resultado indica que la carpeta asfáltica, construida en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas, cumple con los estándares de calidad establecidas por la Rueda cargada de Hamburgo, pero casi en los extremos de los umbrales permitidos.

4.4 Discusión

En la comprobación de la variable independiente, Método Marshall, se han realizado 5 diseños y 15 ensayos, donde se ha comprobado las dimensiones de los Agregados: Arena natural, arena chancada, piedra chancada y dosificador de Filler, medidos mediante la prueba granulométrica y la otra dimensión Cemento asfáltico, medido por el grado de penetración. De los diferentes ensayos realizados se ha logrado determinar que uno de los ensayos es el que se puede considerar como satisfactorio, por cuanto cumple con los parámetros establecidos por el Método Marshall: Estas mediciones dieron como resultado un 6.8 % de cemento asfáltico: Obteniendo un porcentaje de vacíos de 2.6, porcentaje de vacíos en el agregado mineral de 17.5, flujo de 3.7, estabilidad de 972, índice de rigidez 2655, los que se consideran como óptimos para el diseño.

Respecto a la variable dependiente: La rueda cargada de Hamburgo, cuya dimensión es Calidad medida mediante el indicador Saturación, se buscó medir el desempeño de la carpeta asfáltica, construida siguiendo el método Marshall, teniendo como resultado que la capa asfáltica cumple con los estándares de calidad, pero en los umbrales de los parámetros.

CONCLUSIONES

- 1.- Respecto al método de Marshall, tomados en cuenta para la construcción de la carpeta asfáltica en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas se ha podido comprobar, que en la misma se ha cumplido con los parámetros establecidos por el Método Marshall.
- 2.- En síntesis, del primer ensayo de la rueda cargada al segundo ensayo, se puso a prueba un segundo diseño, el que mostró mejor performance en el ensayo de la rueda cargada. A este tipo de ahuellamiento, se obtuvieron resultados en el umbral de la aprobación, entendiendo el uso de condiciones severas impuestas por el ensayo de la rueda. Fue mejorada la granulometría, gradando la arena en inversión, tomando distancia la MAC de zonas de riesgo por rigidización. Asimismo la mezcla asfáltica experimentó un afinamiento en la proporción de C.A.

RECOMENDACIONES:

- 1.- La Técnica de La rueda cargada de Hamburgo, por ser una técnica Alemana y exigir unas 20,000 pasadas, en condiciones extremas (condiciones de humedad inducidas), para determinar la calidad de la carpeta asfáltica, resulta ser una prueba muy exigente, que no es adecuada para nuestra realidad, porque nuestras carreteras no tienen el nivel de circulación como la de los países desarrollados y las condiciones climáticas extremas.
- 2.- Respecto al método Marshall usado para construir las carpetas asfálticas en las carreteras del Perú, recomendamos que se debe tomar en cuenta la calidad de los agregados y un porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- 3.- El filler tiene un papel fundamental en el comportamiento de las mezclas asfálticas debido a que forma parte del esqueleto mineral y soporta las tensiones por rozamiento interno o por contacto entre las partículas. Rellena los vacíos del esqueleto de agregados gruesos y finos, por lo tanto impermeabiliza y densifica el esqueleto. Sustituye parte del asfalto que de otra manera sería necesario para conseguir unos vacíos en mezcla suficientemente bajos.

Proporciona puntos de contacto entre agregados de mayor tamaño y los encaja limitando sus movimientos, aumentando así la estabilidad del conjunto.

Fundamentalmente el filler en la mezcla asfáltica actúa como un antioxidante. El Tráfico y especialmente los rayos ultravioleta es 5 veces más incidente en puna. Esto hace que los Maltenos, asfaltenos, aromáticos y volátiles se evaporen y el asfalto pierda sus propiedades viscoelastoplásticas, el filler no va a evitarlo pero si va a reducir la velocidad de evaporación.

BIBLIOGRAFÍA

Referencia bibliografías

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2000). *Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2000*. Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicación. (2014). *Estudio Definitivo para la Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Dv. Imperial-Pampas*. Perú.
- Ing. Huamán Guerrero, N. (2011). *La deformación permanente en las mezclas asfálticas y consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú*. (Tesis maestría, Universidad Nacional de Ingeniería. Programa Cybertesis PERÚ). Recuperada de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/819>.
- Remolina Bonilla, M. (2011). *Diseño por el Método Marshall de Mezclas asfálticas en la Planta de Tecnopavimentos S.A., Supervisor del Sistema de Gestión de Calidad y Auxiliar de Residente de Obra*. (Tesis de grado, para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Pontificia Bolivariana Colombia). (Acceso el 17 de setiembre de 2015).
- Instituto Chileno del asfalto. (1985). *Tecnología del asfalto y prácticas de construcción. Guía para instructores*. (2.^a ed.). Buenos Aires: La Argentina.

ANEXOS

ANEXO 01

ASFALTO 85/100 PEN



SUPLEMENTO DE INFORME DE ENSAYO (ASFALTO SÓLIDO 85/100 PEN)

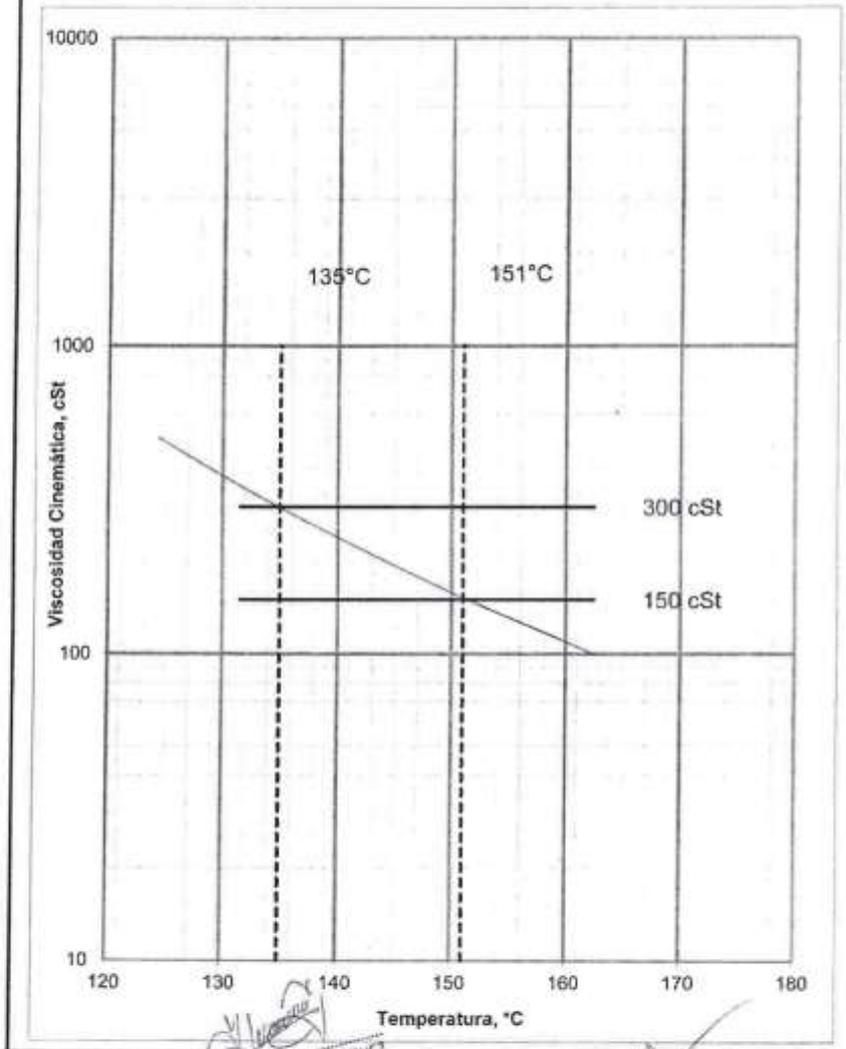
N° GRCO-LAB-1180-2015

FECHA DE REPORTE: 30.06.2015	FECHA DE RECEPCIÓN: 26.06.2015	CÓDIGO DE MUESTRA: 14824			
HORA DE RECEPCIÓN: 08:00 HORAS	PROCEDENCIA: DPTO. REFINACIÓN	BUQUETANGUE:			
TANQUE DE MUESTREO: 47	VOLUMEN CERTIFICADO: 3.925 MB	DESTINO: PLANTA CONCHÁN			
ENSAYOS	MÉTODO ASTM [®]	OTRO MÉTODO	RESULTADOS DEL ANALISIS	ESPECIFICACIONES MIN. MAX.	
PENETRACIÓN:					
a 25°C, 100 gr. 5 seg., 1/10 mm	D 5-08 ¹		96	65	100
DUCTILIDAD:					
a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113-07		>150	100	
FLUIDEZ:					
- Viscosidad Cinemática a 100°C, cSt	D 2170-10		2095	Reportar	
- Viscosidad Cinemática a 135°C, cSt	D 2170-10		297	170	
- Viscosidad Absoluta a 60°C, Poises	D 2170-10			Reportar	
SOLUBILIDAD:					
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	D 2042-09		99.7	99	
Prueba de la Mancha, 25 % Xileno (Nalta-Xileno)		T 102	NEGATIVO	Reportar	
VOLATILIDAD:					
Punto de Inflamación, C.O.C., °C	D 82-05a (2010)		276	232	
DENSIDAD:					
Gravedad API a 60°F, °API	D 70-09 ¹		7.6	Reportar	
Gravedad Específica a 60/60°F	D 70-09 ¹		1.017	Reportar	
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA:					
Punto de Ablandamiento, °C	D 36-12		48.0	Reportar	
Índice de Penetración			-0.2	-1	1
Efecto de Calor y Aire (Pavida Fina):	D 1764-08				
- Pérdida por calentamiento, % masa			0.5		1.0
- Penetración Retenida, % del Original	D 5-06 ¹		52	47+	
- Ductilidad a 25°C, 6 cm/min, cm	D 113-07		126	75	
ADHERENCIA:					
Revelamiento y Desprendimiento, %	D 3621-06(2005)		>95	Reportar	
OBSERVACIONES:					
1. LOS RESULTADOS CORRESPONDEN SOLO A LA MUESTRA ANALIZADA.					
2. LA MUESTRA FUE PROPORCIONADA POR EL CLIENTE.					
La temperatura óptima de mezcla para este producto se encuentra entre 135 y 151°C					
Se adjunta Carta Viscosidad - Temperatura.					
3.(A) American Society for Testing and Materials					
ORIGEN: CLIENTE	ELABORADO POR:	APROBADO POR:			
CDPW 1: ARCHIVO GENERAL DE INFORMES DE ENSAYO	 ISMAEL HUAMAN VASQUEZ N° Ficha 34297	 MICHAEL FIGUEROA DUTRA FICHA: N° 80730 CDPW N° 959 PROL N° 22730 15/06/2015			

BCOLA-R-PT-003-FRM, Rev. 4

*¡Somos la energía que mueve nuestro mundo!
¡Somos la energía que mueve al país!*

Carta Viscosidad - Temperatura ASTM D 341
Rango de Temperatura Óptima de Mezcla
TQ. 47 - C. A.85 / 100 PEN. - 26.06.2015 - 102:00 horas



ISMAEL HUAMAN VASQUEZ
N° Ficha 34297

MICHAEL BEUTEROLA DUTHURBURU
FICHA N° 55130

ANEXO 02

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Definición de problemas	Objetivos	Hipótesis	Diseño de Investigación
Problema Principal	Objetivo Principal	Hipótesis General	Tipo de Investigación
¿De que manera el análisis de la rueda cargada de Hamburgo permite comprobar si la carpeta asfáltica usada en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas cumple con los estándares de calidad de acuerdo al método de Marshall?	Evaluar la calidad de la carpeta asfáltica mediante el análisis de la rueda cargada de Hamburgo, usando el Método Marshall en la rehabilitación de la carretera de Imperial Pampas.	La Rueda de Hamburgo permite comprobar que la carpeta asfáltica usada en la rehabilitación de la carretera Imperial pampas cumple con los estándares de calidad de acuerdo al método Marshall.	- El tipo de investigación para esta Tesis es cualitativa y cuantitativa.
Problemas Secundarios	Objetivos Secundarios	Hipótesis Específicas	Nivel de Investigación
¿Son satisfactorios los áridos de la Mezcla asfáltica en caliente usada en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas ?	Evaluar los áridos de la Mezcla asfáltica en caliente usada en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas.	Los áridos de la Mezcla asfáltica en caliente usada en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas, son satisfactorios	- El nivel de investigación es Explicativo y Aplicativo.
¿Cuáles son las proporciones de los	Verificar las proporciones de los agregados para la combinación	Las proporciones de los agregados para la combinación	

<p>agregados para la combinación granulométrica, empleados en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas?</p>	<p>granulométrica, empleados en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas.</p>	<p>granulométrica, empleados en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas, son los adecuados</p>	
<p>¿Cuál es la calidad de la mezcla asfáltica en caliente empleados en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas?</p>	<p>Evaluar la calidad de la mezcla asfáltica en caliente empleados en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas</p>	<p>La calidad de mezcla asfáltica empleados en la rehabilitación de la carretera Imperial Pampas, son óptimos.</p>	

PRENSA MARSHALL



PUNTO DE PRECISION SAC

Av. Los Angeles 653 Lima 42
Telf. 292-5106 Telefax: 292-2095

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
LFP 129 - 2015**

EXPEDIENTE : T 096-2015
FECHA DE EMISIÓN : 11-05-2015
PÁGINA : 1 DE 2

1. SOLICITANTE : LZ GEOTECNIA CONSULTORES & CONSTRUCTORES E.I.R.L.

DIRECCIÓN : JR. LAS ARAUCARIAS MZA. R4 LOTE. 20 URB. SAN ANTONIO CARABAYLLO 2 LIMA - CARABAYLLO - LIMA

2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO : PRENSA MARSHALL

MARCA DE PRENSA : FORNEY

MARCA DE CELDA : ZEMIC

MODELO DE CELDA : H3-C3-5.01-6B

SERIE DE CELDA : N2C015331

CAPACIDAD DE CELDA : 5 t

MARCA DE INDICADOR : HWEIGH

MODELO DE INDICADOR : 315-XB

SERIE DE INDICADOR : 1002564

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicado ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad del Laboratorio de Estructuras antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. LUGAR Y FECHA DE CALIBRACIÓN

JR. LAS ARAUCARIAS MZA. R4 LOTE. 20 URB. SAN ANTONIO CARABAYLLO 2 LIMA - CARABAYLLO - LIMA
09 - MAYO - 2015

4. MÉTODO DE CALIBRACIÓN.

La Calibración se realizó de acuerdo a la norma ASTM E4.

Se realizó una prueba inicial a la prensa para ver el estado de esta encontrándolo en perfectas condiciones. Posteriormente se realizaron dos series de cargas en cada serie se anotaron las lecturas de la carga patrón y la indicación del indicador de la prensa.

5. TRAZABILIDAD

EQUIPO EMPLEADO

INSTRUMENTO	MARCA	IDENTIFICACIÓN	CERTIFICADO Y/O INFORME	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	AEP TRANSDUCERS	402418	INF-LE 057	UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
INDICADOR	AEP TRANSDUCERS	5271 2009-11		

6. CONDICIONES AMBIENTALES

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	21,5	21,0
Humedad %	63	63

7. RESULTADOS DE LA MEDICIÓN

Los errores de la prensa se encuentran en la página siguiente.

8. OBSERVACIONES

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISION S.A.C.

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capote
R-01 CIP Nº 152035

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISION S.A.C.



**PUNTO DE
PRECISION SAC**

Av. Los Ángeles 653 Lima 42
Telf. 292-5106 Telefax: 292-2095

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
LFP 129 - 2015**

PÁGINA : 2 de 2

TABLA N° 1

SISTEMA DIGITAL "A" kgf	SERIES DE VERIFICACIÓN (kgf)				PROMEDIO "B" kgf	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE 1	SERIE 2	ERROR (1) %	ERROR (2) %			
500	504,70	503,10	-0,94	-0,62	504	-0,77	0,32
1000	1005,75	1008,25	-0,58	-0,83	1007	-0,70	-0,25
1500	1514,20	1512,90	-0,95	-0,86	1514	-0,90	0,09
2000	2010,60	2017,95	-0,93	-0,90	2018	-0,91	0,03
2500	2522,50	2523,95	-0,90	-0,96	2523	-0,92	-0,06
3000	3027,65	3029,10	-0,92	-0,97	3028	-0,94	-0,05
3500	3531,65	3533,30	-0,90	-0,95	3532	-0,92	-0,05
4000	4037,20	4038,65	-0,93	-0,97	4036	-0,94	-0,04

NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

1.- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:

$$Ep = ((A-B) / B) * 100 \quad Rp = \text{Error}(2) - \text{Error}(1)$$

2.- La norma exige que Ep y Rp no excedan el 1,0 %

3.- Coeficiente de Correlación: $R^2 = 1$

Ecuación de ajuste : $y = 0,990x + 1,649$

Donde: x : Lectura de la pantalla
y : Fuerza promedio (kgf)

GRÁFICO N° 1

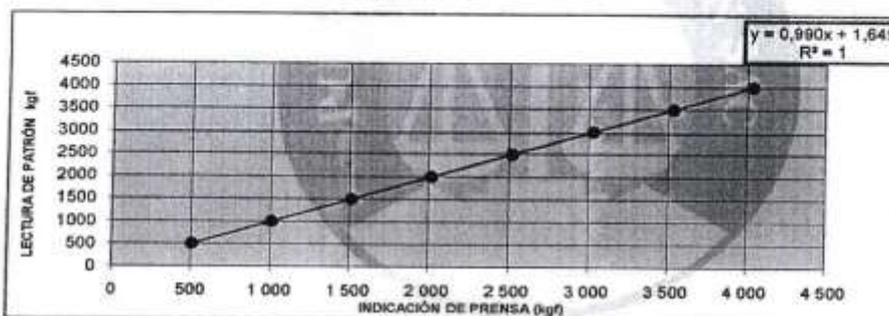
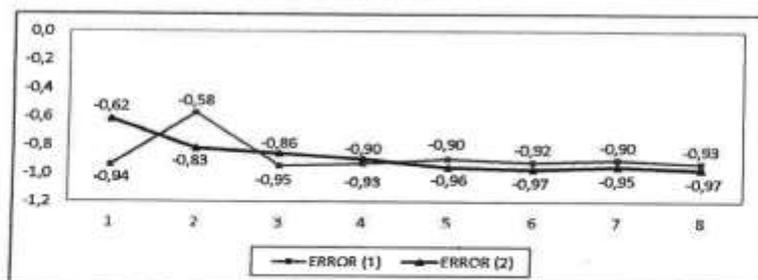


GRÁFICO DE ERRORES



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Rsg. CIP N° 152631

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISION S.A.C.

BALANZA ELECTRÓNICA



PUNTO DE
PRECISION SAC

Av. Los Ángeles 653 Lima 42
Telf. 292-5106 Telefax: 292-2095

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LB - 319 - 2015

Página 1 de 3

FECHA DE EMISIÓN	: 2015-05-11	La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.
EXPEDIENTE	: T 086-2015	
1. SOLICITANTE	: LZ GEOTECNIA CONSULTORES & CONSTRUCTORES E.I.R.L	Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes. PUNTO DE PRECISION S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
DIRECCIÓN	: JR. LAS ARAUCARIAS MZA. R4 LOTE. 20 URB. SAN ANTONIO CARABAYLLO 2 LIMA - CARABAYLLO - LIMA	
2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	: BALANZA	
MARCA	: OHAUS	
MODELO	: EB30	
NÚMERO DE SERIE	: 8031307590	
ALCANCE DE INDICACIÓN	: 30000 g	
DIVISIÓN DE ESCALA / RESOLUCIÓN	: 1 g	
DIVISIÓN DE VERIFICACIÓN (e)	: 10 g	
PROCEDENCIA	: NO INDICA	
IDENTIFICACIÓN	: NO INDICA	
TIPO	: ELECTRÓNICA	
UBICACIÓN	: OFICINA LZ	
FECHA DE CALIBRACIÓN	: 2015-05-09	
3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN	Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII; PC - 001 del SNM-INDECOPI, 3ra edición enero 2009.	
4. LUGAR DE CALIBRACIÓN	OFICINA LZ de LZ GEOTECNIA CONSULTORES & CONSTRUCTORES E I R L JR. LAS ARAUCARIAS MZA. R4 LOTE. 20 URB. SAN ANTONIO CARABAYLLO 2 LIMA - CARABAYLLO - LIMA	



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631



**PUNTO DE
PRECISION SAC**

Av. Los Ángeles 653 Lima 42
Telf. 292-5106 Telefax: 292-2095

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LB - 319 - 2015

Página 2 de 3

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura	22,9	23,1
Humedad Relativa	64	64

6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia del SNM-INDECOPI	Pesas (exactitud M2)	LM-1033-2014 0615-2014 CMP

7. OBSERVACIONES

Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud III, según la Norma Metroológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

8. RESULTADOS DE MEDICIÓN

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERD	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	RES. DE TRABA	NO TIENE
NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1a 15 000 g		Carga L2a 30 000 g	
	lgj	Δlgj	lgj	Δlgj
1	15 000	0,8	30 000	0,5
2	15 000	0,5	30 001	0,6
3	15 001	0,9	30 000	0,5
4	15 000	0,5	30 000	0,6
5	15 001	0,8	30 000	5,0
6	15 000	0,7	30 001	0,9
7	15 000	0,6	30 000	0,5
8	15 000	0,5	30 000	0,5
9	15 000	0,9	30 001	0,5
10	15 001	0,6	30 000	0,7
Diferencia Máxima		1,3	6,5	
Error máximo permitido ±		20 g	30 g	



Luis Loayza Capcha
Jefe del Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631



PUNTO DE PRECISION SAC

Av. Los Ángeles 653 Lima 42
Telf. 292-5106 Telefax: 292-2095

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LB - 2015

Página 3 de 3



Vista Frontal

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Carga mínima (g)	Determinación de E _i			Determinación del Error corregido				
		l(g)	Δl(g)	E _l (g)	Carga (g)	l(g)	Δl(g)	E _l (g)	E _c (g)
1	10	10	0,5	0,0	10 000	10 000	0,6	-0,1	-0,1
2		10	0,7	-0,2		10 000	0,5	0,0	0,2
3		10	0,5	0,0		10 000	0,8	-0,3	-0,3
4		10	0,7	-0,2		10 000	0,6	-0,1	0,1
5		10	0,8	-0,3		10 000	0,6	-0,1	0,2

(*) valor entre 0 y 10 e

Error máximo permitido : a 20 g

ENSAYO DE PESAJE

Carga l(g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				w _{rel} (%)
	l(g)	Δl(g)	E _l (g)	E _{cl} (g)	l(g)	Δl(g)	E _l (g)	E _{cl} (g)	
10	10	0,5	0,0						10
20	20	0,6	-0,1	-0,1	20	0,5	0,0	0,0	10
100	100	0,8	-0,3	-0,3	100	0,7	-0,2	-0,2	10
500	500	0,6	-0,1	-0,1	500	0,5	0,0	0,0	10
2 000	2 000	0,7	-0,2	-0,2	2 000	0,8	-0,1	-0,1	10
5 000	5 000	0,8	-0,1	-0,1	5 000	0,9	-0,4	-0,4	10
10 000	10 000	0,6	0,0	0,0	10 000	0,6	-0,1	-0,1	20
15 000	15 001	0,9	0,6	0,6	15 001	0,6	1,0	1,0	20
20 000	20 001	0,6	0,9	0,9	20 000	0,7	-0,2	-0,2	20
25 000	25 000	0,5	0,0	0,0	25 001	0,8	0,7	0,7	30
30 000	30 001	0,9	0,6	0,6	30 001	0,9	0,6	0,6	30

(**) error máximo permitido:

Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R - 0,0000223 \times R$$

$$U_R = 2\sqrt{3,7413 \text{ g}^2 + 0,0000000291 \times R^2}$$

R: Lectura de la balanza Δl: Carga incrementada E_l: Error en centésimos E_c: Error en décimos E_c: Error corregido

R: en g



Ing. Luis Loayza Capcha
Res. CIP N° 152631

BAÑO MARÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LT 139-2015



**PUNTO DE
PRECISION SAC**

Av. Los Ángeles 653 Lima 42
Telf. 292-5106 Telefax: 292-2085

EXPEDIENTE : T 089-2015
FECHA EMISIÓN : 11-05-2015
PÁGINA : 1 DE 2

1. **RAZON SOCIAL** : **LZ GEOTECNIA CONSULTORES & CONSTRUCTORES E.I.R.L**
DIRECCIÓN : JR. LAS ARAUCARIAS MZA. R4 LOTE. 20 URB. SAN ANTONIO CARABAYLLO 2 LIMA - CARABAYLLO - LIMA
2. **INSTRUMENTO DE MEDICIÓN** : **BAÑO MARIA**
MARCA : NO INDICA
MODELO : NO INDICA
SERIE : NO INDICA
ALCANCE DE MEDICIÓN : 150° C
RESOLUCIÓN : 1 °C
3. **LUGAR Y FECHA DE CALIBRACIÓN**
JR. LAS ARAUCARIAS MZA. R4 LOTE. 20 URB. SAN ANTONIO CARABAYLLO 2 LIMA - CARABAYLLO - LIMA
09 - MAYO - 2015
4. **MÉTODO Y PATRON DE MEDICIÓN**
LA CALIBRACIÓN SE EFECTUO POR COMPARACIÓN CON PATRONES CERTIFICADOS QUE TIENEN TRAZABILIDAD A PATRONES DEL INDECOPI
SE EMPLEARON TERMOMETROS CON INFORME DE CALIBRACIÓN Nro LT-135
5. **CONDICIONES DE CALIBRACIÓN**
LA CALIBRACIÓN SE REALIZO BAJO CONDICIONES NORMALES DE TRABAJO
Temp. Ambiental : 22,4 °C Humedad : 64%
6. **RESULTADO**
LOS RESULTADOS DE LAS MEDICIONES SE MUESTRAN EN LA PAGINA SIGUIENTE
TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN DEL TERMOMETRO NO MENOR A 30 MINUTOS

LA INCERTIDUMBRE A SIDO DETERMINADA CON UN FACTOR DE COBERTURA K-2 PARA UN NIVEL DE CONFIANZA DEL 95 %
7. **OBSERVACIÓN**
CON FINES DE IDENTIFICACIÓN SE HA COLOCADO UNA ETIQUETA AUTOADHESIVA DE COLOR VERDE.
LA PERIODICIDAD DE LA CALIBRACIÓN ESTA EN FUNCIÓN DEL USO, CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN O REGLAMENTOS VIGENTES.




Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 151391

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE PUNTO DE PRECISION S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
LT 139-2015



PUNTO DE
PRECISION SAC

Av. Los Ángeles 653 Lima 42
Telf. 292-5106 Telefax: 292-2095

PÁGINA : 2 DE 2

RESULTADOS :

1	2	3
4	5	6

ZONA	TEMPERATURA BAÑO MARIA	TEMPERATURA PATRÓN	CORRECCIÓN (°C)
1	60	59,9	-0,1
2	60	59,9	-0,1
3	60	59,9	-0,1
4	60	59,9	-0,1
5	59	60,0	1,0
6	60	59,9	-0,1

LA TEMPERATURA CONVENCIONAL VERDADERA (TCV) RESULTA DE LA RELACIÓN
 $TCV = \text{INDICACIÓN DEL BAÑO} + \text{CORRECCIÓN}$




Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE PUNTO DE PRECISION S.A.C.

ESTUFA ELÉCTRICA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LT 137 - 2015



PUNTO DE
PRECISION SAC

Av. Los Ángeles 653 Lima 42
Telf. 292-5106 Telefax: 292-2095

EXPEDIENTE : T 086-2015
FECHA DE EMISIÓN : 11-05-2015
PÁGINA : 1 DE 4

1. SOLICITANTE : LZ GEOTECNIA CONSULTORES & CONSTRUCTORES E.I.R.L.

DIRECCIÓN : JR. LAS ARAUCARIAS MZA. R4 LOTE. 20 URB. SAN ANTONIO CARABAYLLO 2 LIMA - CARABAYLLO - LIMA

2. EQUIPO CALIBRADO : ESTUFA CON INDICACIÓN DIGITAL

MARCA DEL EQUIPO : NO INDICA

MARCA DE INDICADOR : AUTONICS

MODELO DE INDICADOR : TC4S

TEMPERATURA CALIBRADA : 110 °C

CAPACIDAD DE ESTUFA : 200 litros

El instrumento de medición con el modelo y número de serie abajo indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad al servicio Nacional de Metrología del INDECOPI.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. LUGAR Y FECHA DE CALIBRACIÓN

JR. LAS ARAUCARIAS MZA. R4 LOTE. 20 URB. SAN ANTONIO CARABAYLLO 2 LIMA - CARABAYLLO - LIM
09 - MAYO - 2015

4. PATRONES UTILIZADOS

Los patrones utilizados para la calibración tiene trazabilidad con los Patrones Nacionales del Servicio Nacional de Metrología (SNM) de Indecopi.

Se utilizó lo siguiente:

Se Utilizó Termómetro digital marca Traceable para Calibrar el scanner de temperatura.

Scanner Marca Digi-sense Modelo 92800, Serie D96000644.

Certificados:

- Informe de Calibración de INDECOPI N° LT 320 (TERMÓMETRO)

Las 10 termocuplas fueron colocadas y distribuidas uniformemente.

5. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN:

La calibración se efectuó según el procedimiento de calibración PC-018 del Servicio Nacional de Metrología del Indecopi.

6. CONDICIONES CALIBRACIÓN:

El Equipo se encuentra mantenido y está en buenas condiciones.

La incertidumbre de la medición ha sido determinada con un factor de cobertura $k=2$, para un nivel de confianza de 95%.

CONCLUSIONES:

La estufa se encuentra dentro de los rangos $110^{\circ} C \pm 5^{\circ} C$ para la realización de los ensayos de laboratorio según la norma ASTM

8. RECOMENDACIONES.

El equipo no debe sobrecargarse excesivamente, a fin de que quede garantizada una suficiente recirculación de aire en la cámara de trabajo y dejar espacios libres entre cada muestra.

9. OBSERVACIONES:

Se colocó una etiqueta autoadhesiva color verde con la indicación del número de certificado y la fecha de calibración.




Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 452831

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISION S.A.C.

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
LT 137 - 2015**



**PUNTO DE
PRECISION SAC**

Av. Los Angeles 653 Lima 42
Telf. 292-5106 Telefax: 292-2095

Página : 2 de 4

CALIBRACIÓN PARA 110°C

Tiempo (min.)	Ind. (°C) (Temperatura del equipo)	TEMPERATURA EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T. prom. (°C)	ΔT Max. T Min. (°C)
		NIVEL INFERIOR					NIVEL SUPERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	110	110,2	111,6	109,6	111,5	112,6	111,2	112,5	111,2	112,3	111,2	111,4	3,0
2	111	109,3	111,5	109,5	110,8	111,4	110,2	112,5	110,4	111,6	111,5	110,9	3,2
4	111	110,2	112,3	110,8	110,7	112,6	110,6	112,6	112,7	110,5	112,2	111,5	2,5
6	110	110,5	109,2	110,9	109,9	113,1	111,9	112,2	111,6	112,2	111,9	111,3	3,9
8	110	109,6	110,2	110,9	109,1	111,3	111,5	110,5	112,6	112,5	113,1	111,1	4,0
10	111	109,5	110,9	112,5	109,6	112,5	111,6	109,6	110,8	113,2	111,1	111,1	3,7
12	110	111,9	111,6	110,8	110,6	112,5	113,2	110,9	111,6	111,6	111,2	111,6	2,6
14	112	110,5	111,6	109,6	110,2	111,6	111,6	110,2	112,6	111,5	112,6	111,2	3,0
16	110	110,2	111,6	109,5	110,5	113,6	111,5	112,2	111,9	112,2	112,5	111,6	4,1
18	111	110,1	112,2	109,1	112,3	110,7	112,3	111,2	112,3	110,5	111,5	111,2	3,2
20	111	109,5	111,2	110,2	110,6	110,6	111,6	112,3	112,5	110,2	110,5	110,9	3,0
22	110	109,9	111,5	109,5	111,2	109,5	112,5	112,4	110,5	110,2	110,5	110,8	3,0
24	110	109,2	112,9	110,2	111,6	109,6	111,6	111,2	112,5	111,7	112,3	111,3	3,7
26	111	110,8	112,6	110,5	112,6	109,8	110,9	113,6	111,5	110,2	112,1	111,5	3,8
28	110	110,5	110,2	109,6	112,9	110,6	112,6	110,2	112,6	111,2	111,9	111,2	3,3
30	112	111,5	111,6	109,1	111,5	110,5	111,5	112,2	111,9	111,2	112,5	111,4	3,4
32	110	111,6	110,9	109,1	111,6	111,6	110,2	112,5	112,6	111,6	111,5	111,3	3,5
34	111	109,5	110,5	110,2	110,6	110,6	111,6	111,5	112,5	110,2	110,1	110,7	3,0
36	110	109,9	111,5	111,4	111,2	111,0	113,2	112,4	110,5	112,5	110,2	111,4	3,3
38	112	110,2	112,9	111,2	112,5	112,5	110,2	112,0	111,2	111,8	112,3	111,7	2,7
40	111	110,8	111,5	111,6	112,6	112,4	110,9	112,4	111,5	110,2	112,1	111,6	2,4
42	111	110,9	112,9	112,1	110,9	111,9	110,7	111,6	112,6	112,5	111,3	111,7	2,2
44	111	109,6	112,9	112,3	111,5	112,6	110,9	111,5	112,6	112,6	111,2	111,8	3,3
46	110	109,5	110,5	110,5	112,5	112,3	111,6	112,5	110,2	112,6	111,5	111,4	3,1
48	111	110,5	110,9	110,2	110,9	112,1	110,9	111,3	109,6	110,5	111,5	110,8	2,5
50	112	112,4	109,5	111,6	109,6	112,5	111,9	112,6	110,5	110,9	112,6	111,4	3,1
52	110	110,6	110,8	111,2	112,6	110,2	112,9	111,9	111,6	111,9	111,5	111,5	2,7
54	112	112,9	110,7	112,5	111,8	111,6	111,6	112,5	109,8	112,5	111,1	111,7	3,1
56	111	111,5	110,9	111,1	110,2	113,5	111,5	110,9	110,2	110,9	112,6	111,3	3,3
58	110	110,5	109,6	110,2	111,5	112,3	112,9	112,5	111,9	111,1	112,6	111,5	3,3
60	110	110,4	111,6	109,5	112,6	111,9	110,2	111,5	110,9	113,1	112,8	111,5	3,6
T. PROM		110,7	110,5	111,3	110,5	111,2	111,7	111,5	111,8	111,5	111,5	111,7	111,3
MAX		112,0	112,9	112,9	112,5	112,9	113,6	113,2	113,6	112,7	113,2	113,1	
MIN		110,0	109,2	109,2	109,1	109,1	109,5	110,2	109,6	109,6	110,2	110,1	
DTT		2,0	3,7	3,7	3,4	3,8	4,1	3,0	4,0	3,1	3,0	3,0	

Parámetro	Valor (°C)	Incertidumbre Expandida (°C)
Máxima Temperatura Medida	113,8	0,4
Mínima Temperatura Medida	109,1	0,5
Desviación de Temperatura en el Tiempo	4,1	0,3
Desviación de Temperatura en el Espacio	1,3	0,2
Estabilidad Media (±)	2,05	0,03
Uniformidad Media	4,5	0,2

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT esta dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición

Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" esta dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones

La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal centrada, da una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



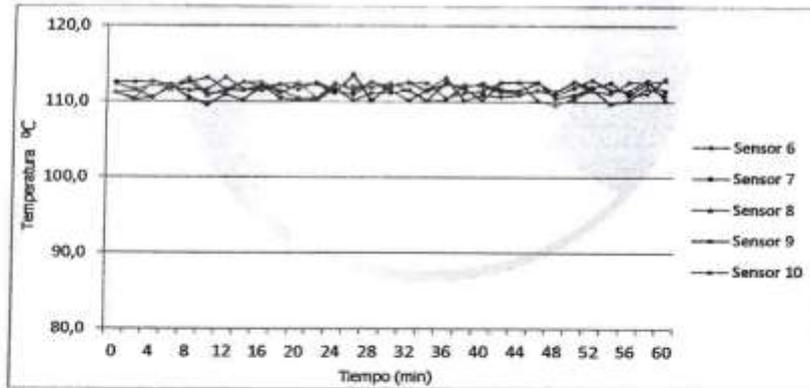
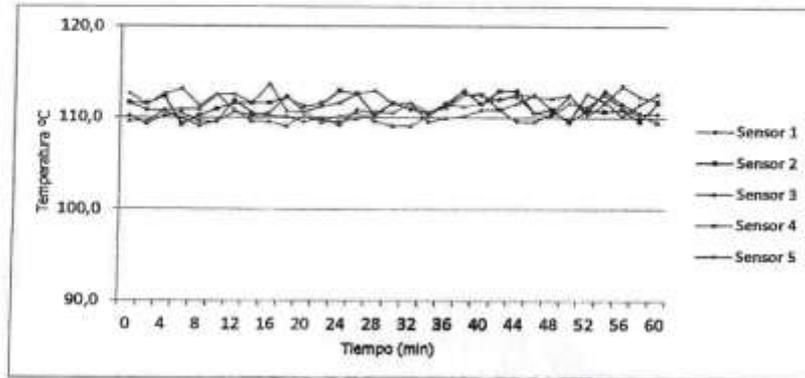
**PUNTO DE
PRECISION SAC**

Av. Los Ángeles 653 Lima 42
Telf. 292-5106 Telefax: 292-2095

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
LT 137 - 2015**

PÁGINA : 3 de 4

TEMPERATURA DE TRABAJO 110 °C



AL
Jefe de Laboratorio
ING. Luis Irayza Cuscha
Reg. CIP N° 152631

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



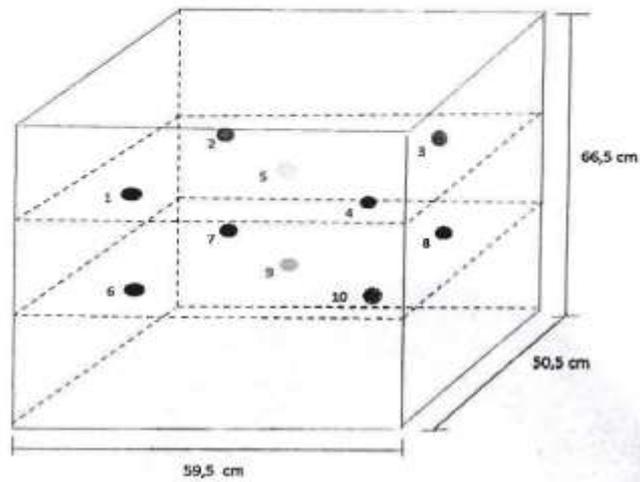
PUNTO DE
PRECISION SAC

Av. Los Ángeles 653 Lima 42
Telf. 292-5106 Telefax: 292-2095

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LT 137 - 2015

Página 4 de 4

DISTRIBUCIÓN DE LOS SENSORES EN EL EQUIPO



- Los Sensores 5 y 10 se ubicaron sobre sus respectivos niveles.
- Los demás sensores se ubicaron a 8 cm de las paredes laterales y a 8 cm del fondo y del frente del equipo.
- Los Sensores del nivel superior se ubicaron a 1,5 cm por encima de la altura más alta que emplea el usuario.
- Los Sensores del nivel inferior se ubicaron a 1,5 cm por debajo de la parrilla más baja




Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISION S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 075 -CFP-2015

Página 1 de 2

Fecha de Emisión : 2015/06/13
Expediente : 146

1. SOLICITANTE : COSAPI S.A.

DIRECCIÓN : Carretera Panamericana Sur Km. 19.2 - Villa el Salvador-Lima

2. EQUIPO : RICE

Marca : No Indio

Modelo : LA-02176

Serie : 648

Código : 37019001

DATOS DEL INSTRUMENTO A CALIBRAR

Instrumento : VACUÓMETRO

Marca : Winters

Alcance de Indicación : 0 inHg a - 30 inHg

División de escala : 0.5 inHg

Posición de Trabajo : POSTERIOR

Diámetro de rosca : 1/4" NPT

Diámetro de caja : 2.5"

Código : VAC-01

FECHA DE CALIBRACIÓN : 2015/05/12

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó tomando como referencia el Procedimiento PC-004: "Procedimiento de Calibración de Manómetros, Vacuómetros y Manovacuómetros de deformación elástica". Edición 01. 2000. INDECOPI.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó en el laboratorio de Grupo Mediciones Perú S.A.C

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

GRUPO MEDICIONES PERÚ S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.



Este documento puede ser reproducido totalmente con autorización de GRUPO MEDICIONES PERU S.A.C.

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicio	Final
Temperatura °C	24.2	24.2
Humedad Relativa %HR	66	66

6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrón de Referencia	Vacuómetro Digital	11001198

7. OBSERVACIONES

(*) Código grabado en el instrumento.

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "CALIBRADO".

La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

8. RESULTADOS

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN DEL VACUÓMETRO

PRESIÓN INDICADA VACUÓMETRO A CALIBRAR (inHg)	PRESIÓN INDICADA VACUÓMETRO PATRÓN		ERROR DE INDICACIÓN		DE HISTÉRESIS (inHg)
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO	
	(inHg)	(inHg)	(inHg)	(inHg)	
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-5.0	-5.14	-5.14	0.14	0.14	0.00
-10.0	-10.34	-10.30	0.34	0.30	0.04
-15.0	-15.50	-15.24	0.30	0.24	0.06
-20.0	-20.41	-20.32	0.41	0.32	0.09
-25.0	-25.46	-25.45	0.46	0.45	0.01
-30.0	-30.34	-30.40	0.34	0.40	-0.06

Máximo Error de Indicación	0.46 inHg	Máximo Error de Histéresis	0.09 inHg
----------------------------	-----------	----------------------------	-----------

Incertidumbre de la Medición \pm 0.16 inHg

El error máximo permitido para vacuómetros de 0 psi a -30 inHg de clase de exactitud 1,5 es de \pm 0,48 inHg.

(Fin del Documento)



Este documento puede ser reproducido totalmente con autorización de GRUPO MEDICIONES PERU S.A.C.

Mantenimiento, Calibración, Certificación, Fabricación y Venta de Equipos e Instrumentos de Medición
Mz. XX2 N° 16 Parcela 101 Los Olivos - Lima Perú Central: (51 01) 637 5944 / 637 5952 / RFM: *185092 / Email: 98 145*9492 / Mov: 980295786 / Claro: 965332803
E-mail: ventas@grupomedicionesperu.com / medicionesperu@yahoo.es / Web: www.grupomedicionesperu.net

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 074 -CFP-2015

Página 1 de 3

Fecha de Emisión : 2015/05/13
Expediente : 145

1. SOLICITANTE : COSAPI S.A.

DIRECCIÓN : Carretera Panamericana Sur Km. 19.2 - Villa el Salvador-Lima

2. EQUIPO : BOMBA DE VACÍO

Marca : GEOMOTORS
Modelo : 5KH33DN68GX
Serie : PKL230961

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento de la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

GRUPO MEDICIONES PERÚ S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

DATOS DE LOS INSTRUMENTOS A CALIBRAR

	VACUÓMETRO	MANÓMETRO
Marca	PREMIUM	PREMIUM
Alcance de Indicación	0 inHg a - 30 inHg	0 psi a 30 psi / 0 - 2 bar
División de escala	0.5 inHg	0.5 psi / 0,05 bar
Posición de Trabajo	VERTICAL	VERTICAL
Diámetro de rosca	1/4" NPT	1/4" NPT
Diámetro de caja	2.5"	2.5"
Identificación	VAC-02 (*)	MAN-01 (*)
FECHA DE CALIBRACIÓN	2015/05/12	2015/05/12

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó tomando como referencia el Procedimiento PC-004: "Procedimiento de Calibración de Manómetros, Vacuómetros y Manovacúmetros de deformación elástica". Edición 01. 2000. INDECOPI.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó en el laboratorio de Grupo Mediciones Perú S.A.C



Este documento puede ser reproducido totalmente con autorización de GRUPO MEDICIONES PERU S.A.C.



5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura °C	24.3	24.2
Humedad Relativa %HR	68	66

6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrón de Referencia	Vacuómetro Digital	11001198
	Manómetro Digital	11001199

7. OBSERVACIONES

(*) Código grabado en el instrumento.

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "CALIBRADO"

La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

8. RESULTADOS

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN DEL VACUÓMETRO

PRESIÓN INDICADA VACUÓMETRO A CALIBRAR (inHg)	PRESIÓN INDICADA VACUÓMETRO PATRÓN		ERROR DE INDICACIÓN		DE HISTÉRESIS (inHg)
	ASCENSO (inHg)	DESCENSO (inHg)	ASCENSO (inHg)	DESCENSO (inHg)	
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-5.0	-5.26	-5.06	0.26	0.06	0.16
-10.0	-10.07	-10.04	0.07	0.04	0.03
-15.0	-15.03	-14.94	0.03	-0.06	0.09
-20.0	-19.99	-19.84	-0.01	-0.16	0.15
-25.0	-25.37	-25.14	0.37	0.14	0.23
-30.0	-30.10	-30.10	0.10	0.10	0.00

Máximo Error de Indicación	0.37 inHg	Máximo Error de Histéresis	0.20 inHg
----------------------------	-----------	----------------------------	-----------

Incertidumbre de la Medición ± 0.16 inHg

El error máximo permitido para vacuómetros de 0 psi a -30 inHg de clase de exactitud 1,6 es de ± 0,48 inHg.



Este documento puede ser reproducido totalmente con autorización de GRUPO MEDICIONES PERU S.A.C.

Mantenimiento, Calibración, Certificación, Fabricación y Venta de Equipos e Instrumentos de Medición
Mz. XX2 N° 16 Parcela 10-1 - Los Olivos - Lima-Perú - Central: (51-01) 637 5944 / 637 5952 / RPM: *185992 / Fotel: 98 145*9492 / Mov. 980295786 / Claro: 965332803
E-mail: ventas@grupomedicionesperu.com / medicionesperu@yahoo.es / Web: www.grupomedicionesperu.net

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN DEL MANÓMETRO

PRESIÓN INDICADA VACUÓMETRO A CALIBRAR (Psi)	PRESIÓN INDICADA		ERROR		
	VACUÓMETRO PATRÓN		DE INDICACIÓN		DE HISTÉRESIS
	ASCENSO (Psi)	DESCENSO (Psi)	ASCENSO (Psi)	DESCENSO (Psi)	
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.0	4.58	4.56	0.42	0.44	-0.02
10.0	9.62	9.53	0.38	0.47	-0.09
15.0	14.85	14.55	0.35	0.45	-0.10
20.0	19.64	19.54	0.38	0.46	-0.10
25.0	24.77	24.57	0.23	0.43	-0.20
30.0	29.82	29.62	0.18	0.18	0.00

Máximo Error de Indicación 0.47 Psi Máximo Error de Histéresis 0.20 Psi

Incertidumbre de la Medición \pm 0.16 Psi

El error máximo permitido para vacuómetros de 0 psi a 30 psi de clase de exactitud 1,6 es de \pm 0,48 psi.

(Fin del documento)



Duplicado



Este documento puede ser reproducido totalmente con autorización de GRUPO MEDICIONES PERU S.A.C.

Mantenimiento, Calibración, Certificación, Fabricación y Venta de Equipos e Instrumentos de Medición
Mz. XX2 N° 16 Parcela 10-1 - Los Olivos - Lima-Perú - Central: (51-01) 637 5944 / 637 5952 / RPM: *185092 / Entel: 98 145*9492 / Mov: 980295786 / Claro: 965332803
E-mail: ventas@grupomedicionesperu.com / medicionesperu@yahoo.es / Web: www.grupomedicionesperu.net