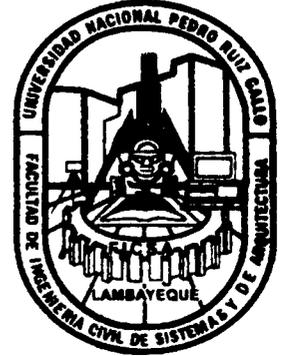




# UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
SISTEMAS Y ARQUITECTURA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**"MEJORAMIENTO CON EMULSIONES ASFALTICAS  
DE BASES GRANULARES, PARA PAVIMENTO EN  
LA REGION LAMBAYEQUE"**

## TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

# **INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**BACH. JUAN CARLOS VERA TELLO**

**ASESOR:**

**ING. NELSON ENRIQUE HUANGAL CASTAÑEDA**

**LAMBAYEQUE - PERÚ**

**2015**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“PEDRO RUIZ GALLO”**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“MEJORAMIENTO CON EMULSIONES ASFALTICAS DE BASES  
GRANULARES, PARA PAVIMENTO EN LA REGION LAMBAYEQUE”**

**PRESENTADO POR:**

**BACH. JUAN CARLOS VERA TELLO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENERO CIVIL**

**ASESOR:**

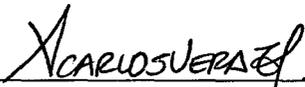
**ING. NELSON ENRIQUE HUANGAL CASTAÑEDA**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**2015**

**“MEJORAMIENTO CON EMULSIONES ASFALTICAS DE  
BASES GRANULARES, PARA PAVIMENTO EN LA REGION  
LAMBAYEQUE”**

**PRESENTADO POR:**



**Bach. Juan Carlos Vera Tello**

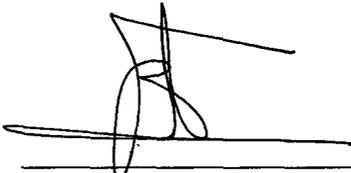
**AUTOR**



**Ing. Nelson Enrique Huangal Castañeda**

**ASESOR**

**APROBADO POR:**



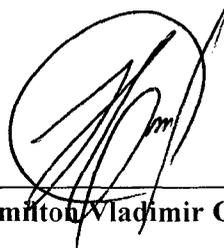
**Ing. Sergio Bravo Idrogo**

**Presidente de Jurado**



**Ing. Wesley Amado Salazar Bravo**

**Miembro del Jurado**



**M. Sc. Ing. Hamilton Vladimir Cueva Campos**

**Miembro del Jurado**

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar reconocimiento a las personas que me ayudaron a lo largo de todo este proceso académico.

A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo: que me dio la oportunidad de ser parte de ella, por educarme como profesional.

A mi asesor Ing. Nelson Enrique Huangal Castañeda, por aportar ideas al desarrollo de esta tesis de graduación.

A mis amigos: Ing. Edilberto Tello Cabrera y el Ing. Omar Coronado Zuloeta por su aporte Técnico – Profesional.

## **DEDICATORIA**

A DIOS: Por ser quien me permitió la vida y la oportunidad de realizar la presente investigación, así como la fuerza y la valentía para aguantar esas noches de desvelo.

A MIS PADRES: Segundo Marco Vera Castro y Apolonia Tello Vásquez por el apoyo de todos los años de estudio hasta la culminación.

A MI ESPOSA: Veronica Esther Tone Chiri, por comprenderme, apoyarme y entenderme cada día.

A MIS HIJOS: Adriano y Piero Vera Tone, por ser la bendición más grande que Dios me ha regalado, y pasar hacer el motor y motivo de mi vida.

## INDICE

UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"
OFICINA CENTRAL DE BIBLIOTECA PROCESOS TECNICOS
18 JUL 2016
Nº DE INGRESO: 190
COD. DE CLASIFICACION:

AGRADECIMIENTOS .....	3
DEDICATORIA .....	4
1. CONTENIDO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION .....	12
1.1 TITULO DEL PROYECTO: .....	12
1.2 PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	12
1.2.1 DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	12
1.2.2 DESCRIPCION DEL PROYECTO .....	13
1.2.2.1 FORMULACION DE LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACION	15
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	15
1.4 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA .....	16
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	16
CAPITULO II.....	17
2. MARCO TEORICO .....	17
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION .....	17
2.2 BASE TEORICA.....	21
2.2.1 CLASIFICACION DE LAS CARRETERAS EN NUESTRO PAIS..	21
2.2.1.1 CLASIFICACION POR DEMANDA .....	21
2.2.1.1.1 AUTOPISTAS DE PRIMERA CLASE .....	21
2.2.1.1.2 AUTOPISTAS DE SEGUNDA CLASE.....	22
2.2.1.1.3 CARRETERAS DE PRIMERA CLASE.....	22
2.2.1.1.4 CARRETERAS DE SEGUNDA CLASE .....	22
2.2.1.1.5 CARRETERAS DE TERCERA CLASE .....	23
2.2.1.1.6 TROCHAS CARROZABLES .....	23

2.2.2 PAVIMENTOS .....	24
2.2.2.1 CONCEPTO DE PAVIMENTOS.....	24
2.2.2.1.1 Pavimentos Flexibles o Asfálticos .....	24
2.2.2.1.2 Pavimentos Semi-rígidos o Semi-flexibles.....	24
2.2.2.1.3 Pavimentos Rígidos.....	25
2.2.2.2 ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS .....	26
2.2.2.2.1 SUBRASANTE.....	26
2.2.2.2.2 SUBBASE GRANULAR .....	26
2.2.2.2.3 BASE.....	28
2.2.2.2.3.1 BASE GRANULAR.....	28
2.2.2.2.3.2 BASE ESTABILIZADA .....	29
2.2.2.2.4 SUPERFICIE DE RODADURA.....	30
2.2.3 CAPAS ASFÁLTICAS.....	31
2.2.3.1 Hormigón asfáltico .....	31
2.2.3.2 Mezcla asfáltica en frío.....	31
2.2.3.3 Mezcla asfáltica en caliente .....	32
2.2.3.4 Riegos asfálticos.....	32
2.2.3.5 Tratamientos superficiales .....	32
2.2.3.6 Sellos asfálticos.....	33
2.2.3.7 Lechada Asfáltica (Slurry Seal) .....	33
2.2.3.8 Microaglomerados (Microsurfacing) .....	33
2.2.4 BLOQUES DE CONCRETO.....	33
2.2.4.1 Adoquines.....	33
2.2.5 EMULSIONES ASFALTICAS.....	34
2.2.5.1 CONCEPTO DE EMULSION ASFÁLTICA .....	34
2.2.5.1.1 Emulsión Directa.....	35
2.2.5.1.2 Emulsión Inversa.....	35

2.2.5.2 ESTRUCTURA QUÍMICA .....	36
2.2.5.3 COMPOSICIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA .....	38
2.2.5.3.1 CEMENTO ASFÁLTICO .....	38
2.2.5.3.1.1 Proveniencia del Asfalto .....	38
2.2.5.3.1.2 Tipos de Asfaltos .....	39
2.2.5.3.1.3 PRUEBAS A QUE DEBE SER SOMETIDO UN ASFALTO .....	42
2.2.5.3.1.3.1 Ensayos para medir consistencia .....	42
2.2.5.3.1.3.2 Ensayos de durabilidad .....	42
2.2.5.3.1.3.3 Ensayos de pureza .....	43
2.2.5.3.1.3.4 Ensayos de seguridad .....	43
2.2.5.3.1.3.5 Otros ensayos .....	43
2.2.5.3.2 SOLUCIÓN JABONOSA .....	43
2.2.5.3.2.1 AGUA .....	43
2.2.5.3.2.2 AGENTE EMULSIFICANTE .....	44
2.2.5.4 VARIABLES QUE AFECTAN LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA .....	46
2.2.5.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DE LAS EMULSIONES PRODUCCIÓN DE LA EMULSIÓN .....	47
2.2.5.5.1 Equipo Emulsificador .....	47
2.2.5.5.2 Proceso de Emulsificación .....	48
2.2.5.6 ROTURA Y CURADO DE UNA EMULSIÓN .....	51
2.2.5.6.1 ROTURA .....	51
2.2.5.6.2 CURADO .....	52
2.2.5.7 FACTORES QUE AFECTAN LA ROTURA Y EL CURADO .....	53
2.2.5.8 PROPIEDADES BÁSICAS DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS .....	54
2.2.5.8.1 Propiedades intrínsecas .....	54

2.2.5.8.1.1 Viscosidad.....	54
2.2.5.8.1.2 Adhesividad .....	55
2.2.5.8.1.3 Cohesividad.....	56
2.2.5.8.2Propiedades Mecánicas que condicionan el comportamiento de las emulsiones.....	57
2.2.5.8.2.1 Estabilidad en el almacenamiento .....	57
2.2.5.8.2.2 Espumas .....	57
2.2.5.8.2.3 Natas .....	58
2.2.5.8.2.4 Sedimentos .....	58
2.2.5.8.2.5 Mezcla entre emulsiones.....	58
2.2.5.8.2.6 Aditivos.....	58
2.2.5.8.2.7 Temperatura .....	59
2.2.5.8.2.8 Estabilidad de la emulsión ante los agregados .....	59
2.2.5.8.2.9 Características del residuo asfáltico .....	59
2.2.5.9 CONTROL DEL CALIDAD.....	60
2.2.5.9.1 Control de Calidad en la Fabricación.....	60
2.2.5.9.2 Control de calidad en la aplicación.....	64
2.2.5.10 USOS Y APLICACIONES DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	66
2.2.5.10.1USO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS SIN AGREGADOS.....	67
2.2.5.11SELECCIÓN DEL TIPO Y GRADO DE EMULSIÓN A UTILIZAR.....	75
2.2.5.11.1 Emulsiones de Rotura Rápida (Rapid-Setting).....	75
2.2.5.11.2 Emulsiones de Rotura Media (Medium-Setting) .....	76
2.2.5.11.3 Emulsiones de Rotura Lenta. ....	76
2.2.5.11.4 Emulsiones de Rotura Rápida QS y para Micro-aglomerados ..	77
2.2.5.12 TIPOS DE MEZCLAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	77

2.2.5.13	USOS PRINCIPALES DE MEZCLAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS .....	78
2.2.5.14	DISEÑO DE MEZCLAS ESTABILIZADAS .....	80
2.2.5.14.1	CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA EN FRÍO.....	80
2.2.5.15	PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS EN FRÍO .....	83
2.2.5.15.1	Estabilidad.....	83
2.2.5.15.2	Durabilidad.....	84
2.2.5.15.3	Impermeabilidad.....	86
2.2.5.15.4	Trabajabilidad .....	87
2.2.5.15.5	Flexibilidad .....	89
2.2.5.15.6	Resistencia a la Fatiga .....	89
2.2.5.15.7	Resistencia al Deslizamiento .....	90
2.2.5.16	MÉTODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS .....	91
2.3	HIPOTESIS.....	93
2.4	VARIABLES .....	93
2.4.1	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	93
2.4.2	VARIABLE DEPENDIENTE.....	93
2.5	DEFENICION DE TERMINOS .....	93
3.	MARCO METODOLOGICO.....	96
3.1	TIPO DE INVESTIGACION.....	96
3.2	POBLACION Y MUESTRA .....	96
3.2.1	TAMAÑO DE LA MUESTRA .....	96
3.2.2	UBICACIÓN DE LAS CANTERAS DE MATERIALES GRANULARES .....	97
3.3	TECNICAS Y FORMATOS DE RECOLECCION DE DATOS.....	102
3.4	METODOLOGIA DE LOS ENSAYOS Y NORMAS EMPLEADAS .....	103

3.5 LEVANTAMIENTO DE INFORMACION.....	106
4. PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS.....	107
4.1 PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS APLICADOS A CADA UNA DE LAS CANTERAS EN ESTUDIO.....	107
4.1.1 Análisis Granulométrico por tamizado (MTC E 107- 2000, ASTM D 422, AASHTO T 88, MTC E 107 – 2000).- .....	107
4.1.2 Determinación del Limite Liquido (MTC E 110 – 2000, ASTM D 4318, AASHTO T 89), Determinación del Limite Plástico (L.P.) e Índice de Plasticidad (L.I.) (MTC E 111 – 2000, ASTM 4318, AASHTO T90).- .. .....	113
4.1.3 Equivalente de Arena, Suelos y Agregados Finos, (MTC E 114 – 2000, ASTM 2419, AASHTO T 176).-.....	123
4.1.4 Relaciones Humedad Densidad (Proctor Modificado)( MTC E 115 – 2000, ASTM D 1557).-.....	130
4.1.5 CBR de Suelos (laboratorio), (MTC E 132 – 2000, ASTM D 1883, AASHTO T 193).-.....	138
4.1.6 Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2) (MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96, ASTM C 535).-.....	152
4.2 DISEÑO MARSHALL MODIFICADO PARA MEZCLAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	159
4.2.1 OBJETIVO.....	159
4.2.2 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TENTATIVO DE EMULSIÓN.....	159
4.2.3 CUBRIMIENTO DE LOS AGREGADOS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS, (MTC E 412 – 2000, ASTM D 244, AASHTO T 59).- .....	161
4.2.4 FABRICACIÓN DE BRIQUETAS.- .....	166
4.2.5 ENSAYO DE LAS BRIQUETAS.....	173
4.2.6 ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO .....	179

4.2.7 CORRECCIÓN DE LA ESTABILIDAD.....	182
4.2.8 RESULTADOS OBTENIDOS.....	192
4.3 CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO.....	206
CAPITULO V.....	209
5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	209
5.1 RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS.....	210
5.1.1 RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS CON LOS MATERIALES GRANULARES.....	210
5.1.2 RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS CON LAS BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	213
5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y GRÁFICOS.....	214
5.2.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	215
5.2.2 PROPIEDADES REQUERIDAS POR EL MANUAL DE CARRETERAS EG 2013 PARA ACEPTACIÓN DE MATERIALES GRANULARES.....	215
5.2.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS CON LAS BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	217
5.3 TOLERANCIA Y ACEPTACIÓN DE RESULTADOS .....	218
CAPÍTULO VI .....	221
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	221
6.1 CONCLUSIONES .....	221
6.2 RECOMENDACIONES .....	222
BIBLIOGRAFÍA .....	223

# CAPITULO I

## 1. CONTENIDO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

### 1.1 TITULO DEL PROYECTO:

“MEJORAMIENTO CON EMULSIONES ASFALTICAS DE BASES GRANULARES, PARA PAVIMENTO EN LA REGION LAMBAYEQUE”

### 1.2 PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

#### 1.2.1 DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Los factores climáticos afectan al pavimento, los finos al mezclarse con la humedad aglutinan a las fracciones más gruesas, y bajo la acción abrasiva de los neumáticos (acción del tráfico) llegan a pulverizarse en condiciones secas.

Estos finos pulverizados aparecen como material particulado en suspensión (polvo) y por la constante pérdida de éstos es que los agregados gruesos están de manera suelta ante la acción del tráfico, y es así que la superficie de rodadura comienza a desgastarse de manera progresiva dando lugar a la formación de las depresiones, baches, y ondulaciones.

Estos problemas estructurales y superficiales se presentan debido a la acción del tráfico y a las condiciones climáticas (presencia de lluvias). El deterioro ocurre en varias etapas, desde un deterioro lento que no se percibe hasta un deterioro crítico donde se evidencia en una descomposición total de la vía que involucra una nueva conformación o rehabilitación del pavimento.<sup>1</sup>

Las mezclas asfálticas en frío, empleando como ligante una emulsión asfáltica, tienen poca utilización, porque en la mayoría de casos se prefieren las mezclas en caliente.

---

<sup>1</sup> Coronado, I.J. (2000). Daños de Pavimentos Viales. Catalogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales, Pág. 40

Los materiales granulares no requieren secado, ni calentamiento, es decir, que se los emplea tal como se presentan en la cantera, con su humedad natural. Estas mezclas también pueden ser elaboradas en la misma planta central, destinada a la producción de mezclas en caliente, prescindiendo para ello del sistema de calefacción, para el secado de los áridos, el calentamiento y circulación del asfalto.

La mezcla asfáltica en frío permite utilizar una gran variedad de materiales granulares de diferentes canteras y tipos de emulsiones asfálticas, que al combinarlos son aplicables en la reparación de pavimentos deteriorados, en la capa de rodadura o para la construcción de una nueva calzada, seleccionando la que más se adapte a las características del proyecto.

Para garantizar un mejor desempeño, se propone la estabilización con emulsión asfáltica, a fin de obtener un comportamiento y rendimiento similar al de una base granular de calidad, siempre buscando el mayor beneficio, a base de un costo moderado.

### **1.2.2 DESCRIPCION DEL PROYECTO**

El presente proyecto de tesis comprende en diseñar mezclas de materiales granulares con diferentes porcentaje de emulsión Asfáltica, encontrando un óptimo porcentaje de emulsión Asfáltica, además se evaluará la estabilidad y flujo mediante el ensayo de Marshall. Logrando así un incremento en la capacidad portante, firmeza y la resistencia al desplazamiento por acción del clima.

Los materiales granulares a mejorar (propiedades mecánicas) se extraerán de tres canteras:

- ✓ Cantera Tres Tomas ubicado en la Provincia Ferreñafe.
- ✓ Cantera el cinco ubicado en el distrito de Pátapo.
- ✓ El tercer material granular está integrado por dos canteras: cantera Cachinche ubicado el distrito de Pitipo, se observa que este material granular presenta un índice de plasticidad mayor a lo que

especifican los manuales de carreteras del ministerio de transportes y comunicaciones: manual de carreteras “Especificaciones Técnicas Generales de Construcción” (EG-2013) y el manual de carreteras “Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos” y la cantera San Luis ubicado en el caserío San Luis que pertenece al distrito de Morrope, cuyas características del material es hormigón. Se realizarán ensayos correspondientes a las dos canteras para poder obtener un diseño de mezcla que cumpla con los parámetros exigidos por los manuales de carreteras antes mencionados.

Para la investigación se usara la emulsión CSS-1h (Emulsión Asfáltica Cationica de Rotura Lenta) de la empresa CAH Contratistas Generales, ubicada en la ciudad Lima. El empleo de esta emulsión Asfáltica otorga al afirmado una mayor estabilidad frente a la acción del agua así como también ante los demás agentes de erosión reduciendo considerablemente la pérdida de finos y aumenta el índice de serviciabilidad de la vía y su tiempo de vida útil.

El material extraído de las canteras se someterá a diversos ensayos de laboratorio Análisis Granulométrico por Tamizado MTC E 107 - 2000, Límite Líquido MTC E 110 - 2000, Límite Plástico (L.P) e Índice de Plasticidad (I.P) MTC E 111 – 2000, Relaciones Humedad Densidad (Proctor Modificado) MTC E 115 – 2000, CBR MTC E 132 - 2000, Equivalente de Arena MTC E 114 – 2000, para obtener sus características mecánicas y físicas del material granular.

El objetivo del Método Marshall para el Diseño de Mezclas Frías es obtener el contenido óptimo de emulsión asfáltica para una combinación específica de material granular.

La finalidad de esta investigación será obtener la mejor proporción de emulsión con respecto al peso seco del material a estabilizar.

### **1.2.2.1 FORMULACION DE LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACION**

- ✓ ¿Qué características deben tener los materiales para su empleo en mezclas con emulsiones asfálticas?
- ✓ ¿Este diseño de base de pavimento; soportará adecuadamente las condiciones climáticas del departamento de Lambayeque?
- ✓ ¿Qué incidencia tendrá en el medio ambiente la construcción de carreteras no asfaltadas con tecnología en frío en sectores rurales en el departamento de Lambayeque?
- ✓ ¿Qué contenido de emulsión será necesario añadir a las mezclas para lograr las exigencias del diseño?

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar el mejoramiento con Emulsiones Asfálticas de Bases Granulares para Pavimentos en la Región Lambayeque.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ✓ Realizar ensayos de laboratorio (Análisis granulométrico por tamizado, Limite Plástico, Limite Liquido, Índice de Plasticidad, Equivalente de Arena, Proctor Modificado, CBR, Abrasión los Ángeles) para definir las propiedades mecánicas de los materiales granulares, de las canteras Tres Tomas, El Cinco, San Luis(60%) y Cachinche (40%) de la región Lambayeque.
- ✓ Comparar las propiedades mecánicas, obtenidos en el laboratorio de los materiales granulares de las canteras Tres Tomas, El Cinco, San Luis(60%) y Cachinche (40%) de la región Lambayeque, respetando los manuales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (EG 2013).
- ✓ Realizar el Ensayo del Método Marshall para el Diseño de Mezclas frías, para obtener el % de emulsión asfáltica, estabilidad

y flujo de las canteras Tres Tomas, El Cinco, San Luis (60%) y Cachinche (40%) de la región Lambayeque.

- ✓ Comparar los resultados obtenidos en el laboratorio para bases estabilizadas con emulsión asfálticas, según el manual básico de emulsión asfáltica (Instituto del Asfalto, Asociación de productores de emulsión asfáltica).

#### **1.4 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA**

Como una alternativa para el uso de estos materiales, tenemos su mejoramiento mediante la estabilización con emulsión asfáltica, que signifique reducir el costo de las capas de pavimento, puesto que exigen la mayor calidad de los materiales cuando se trata de la capa de rodadura. La capa de base puede ser mejorada hasta que alcance el comportamiento técnico de una base de mejor calidad.

Al mejorar el material granular que se utilizará en bases con emulsión asfáltica trae como consecuencia algunas ventajas como:

- Se consigue mejorar las características mecánicas, con base a mejores coeficientes estructurales, lo cual permite mayores valores de soporte con menor espesor de capa.
- Es un producto apto desde el punto de vista ecológico, ya que lo único que libera al medio es agua, el medio dispersante de las emulsiones es el agua, por este motivo no es inflamable y las emanaciones de vapores de hidrocarburo hacia la atmósfera son casi nulas.
- El uso de estos materiales es una alternativa técnica que puede ser fácilmente implementada para lugares cercanos a las minas, economizando en el costo de conformación de la capa de base y mejorando en calidad de la capa de rodadura.

#### **1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES**

La aplicación del mejoramiento con emulsiones asfálticas de bases granulares, para pavimentos. Es un tema de gran interés en la actualidad, debido a los problemas de contaminación a nivel local y mundial, por el uso de otros productos asfálticos con alto grado contaminación.

Este proyecto de investigación está delimitado en la región Lambayeque, por el uso de sus canteras.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

Un estudio similar se realizó en el año 2011 en la ciudad de Porto Viejo – Manabí - Ecuador por la UNIVERSIDAD TÉCNICA MANABÍ con el tema: “Mejoramiento de Materiales Granulares con Emulsiones Asfálticas para Bases de Pavimentos en las Vías de Tercer Orden o de Penetración de la Provincia De Manabí” cuyos resultados fueron los siguientes:

- ✓ La composición óptima para el mejoramiento de materiales granulares con emulsión asfáltica es variable dependiendo de la granulometría del material y de la plasticidad del mismo durante la investigación se consiguieron buenos resultados en:
  - Materiales de granulometría comprendida entre menos de 4” y 3/8” con un 28% de material menor a esta característica + 8.5% de emulsión asfáltica = 850 libras de estabilidad.
  - Materiales de granulometría comprendida entre menos de 2 1/2” y 3/8” con un 52% de material menor a esta característica + 8% de emulsión asfáltica = 720 libras de estabilidad.
  - Materiales de granulometría comprendida entre menos de 4” y 3/8” con un 48% de material menor a esta característica + 7.8% de emulsión asfáltica = 830 libras de estabilidad.
- ✓ La emulsión asfáltica empleada para el mejoramiento de los materiales granulares está compuesta por un 65% de Asfalto AC 20; un 34.30% de agua y un 0.70% de emulsificante ASFIER 121 la misma que según la prueba de laboratorio ofreció excelentes resultados en la estabilidad de los materiales granulares.

La investigación realizada por el bachiller Dennis Roberto de la Cruz Salcedo; presentada para optar por el título profesional de Ingeniero Civil,

Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de ingeniería civil, Lima – Perú, año 2010 bajo el tema: “**Diseño y Evaluación de un Afirmado Estabilizado con Emulsión Asfáltica, Aplicación: Carretera Cañete – Chupaca**”, llegando a las siguientes conclusiones:

- ✓ La estabilización de suelos con emulsión asfáltica ofrece muchas ventajas frente a las mezclas asfálticas en caliente, en razón de no necesitar calentamiento. La presencia de humedad y la baja viscosidad del ligante, permiten que los agregados tengan un buen recubrimiento a temperatura ambiente.
- ✓ El uso de mezclas asfálticas en frío no requiere el uso de equipos sofisticados, por lo cual, su uso es apropiado en zonas remotas y con no tan altos recurso económicos.
- ✓ Dado que en suelos no cohesivos la emulsión les brinda cohesión y se busca el incremento de su resistencia y en suelos finos cohesivos se busca que la emulsión le añada estabilización ante la presencia del agua y presente buena resistencia. Para la obtención del óptimo contenido de emulsión asfáltica se usa el Ensayo del CBR o el Método Marshall Modificado.

La Investigación realizada por **Rogelio Rodríguez Talavera, Víctor Manuel Castaño y Miguel Martínez Madrid**; presentada por el Ministerio Mexicano de Transporte bajo el tema **Emulsiones Asfálticas** en el mismo se muestra la importancia de este tema desde un punto de vista tecnológico, resaltando las variables importantes en la fabricación de las emulsiones asfálticas entre las cuales se puede señalar:

- ✓ La aplicación de la tecnología de las emulsiones asfálticas es de mucha importancia ya que constituyen un avance tecnológico en el proceso de asfaltado de carreteras.
- ✓ Las emulsiones tienen un sin número de ventajas sobre el asfalto caliente o el rebajado, por lo que es importante extender el empleo de este tipo de tecnología a la magnitud de su red carretera del país.
- ✓ La utilización de esta tecnología no únicamente proporciona un ahorro

en el proceso de asfaltado de las carreteras, sino que también mejora la adhesión del asfalto con el material granular, con un consecuente incremento en el tiempo de vida de la carpeta asfáltica y una mayor seguridad para el usuario de las mismas.

La investigación realizada por los bachilleres Guevara Palma Marlon Rodolfo, Méndez Delgado Hosni Amir, Pimentel Gomez Juan Carlos de la Universidad de el Salvador; Facultad Multidisciplinaria de Occidente; Departamento de Ingeniería y Arquitectura cuyo tema: **“Diseño de Mezclas Asfálticas densas en Frio basado en el método Marshall Modificado De La Universidad De Illinois.”**

Estas investigaciones constituyen tan solo una porción muy pequeña de toda la gama de estudios que se han realizado y se están realizando dentro y fuera del país auspiciados por las más prestigiosas instituciones tanto del sector vialidad como del sector educativo y que apoyan y avalan la realización del presente trabajo investigativo en el departamento de Lambayeque.

La estabilización de bases para una carretera no asfaltada, de bajo volumen de tránsito del departamento de Lambayeque, mediante el uso de materiales granulares mejorados con emulsiones asfálticas es un estudio inédito; sin embargo existen estudios relacionados o similares que apoyan la realización de la investigación, lamentablemente la mayoría de ellos han sido realizados dentro y fuera del país entre los más relevantes se pueden señalar:

La investigación realizada por el bachiller Dennis Roberto de la Cruz Salcedo; presentada para optar por el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de ingeniería civil, Lima – Perú, año 2010 bajo el tema: “Diseño y Evaluación de un Afirmado Estabilizado con Emulsión Asfáltica, Aplicación: Carretera Cañete – Chupaca”, llegando a las siguientes conclusiones:

- ✓ La estabilización de suelos con emulsión asfáltica ofrece muchas ventajas frente a las mezclas asfálticas en caliente, en razón de no necesitar calentamiento. La presencia de humedad y la baja viscosidad del ligante permiten que los agregados tengan un buen recubrimiento a

temperatura ambiente.

- ✓ El uso de mezclas asfálticas en frío no requiere el uso de equipos sofisticados, por lo cual, su uso es apropiado en zonas remotas y con no tan altos recursos económicos.
- ✓ Dado que en suelos no cohesivos la emulsión les brinda cohesión y se busca el incremento de su resistencia y en suelos finos cohesivos se busca que la emulsión le añada estabilización ante la presencia del agua y presente buena resistencia. Para la obtención del óptimo contenido de emulsión asfáltica se usa el Ensayo del CBR o el Método Marshall Modificado.
- ✓ Dado que la mezcla en servicio evoluciona hasta un estado final donde sólo permanece recubriendo al agregado el residuo asfáltico, corresponde dosificar el ligante asumiendo sólo la presencia del residuo asfáltico o el cemento asfáltico correspondiente.

La Investigación realizada por **Rogelio Rodríguez Talavera, Víctor Manuel Castaño y Miguel Martínez Madrid**; presentada por el Ministerio Mexicano de Transporte bajo el tema Emulsiones Asfálticas en el mismo se muestra la importancia de este tema desde un punto de vista tecnológico, resaltando las variables importantes en la fabricación de las emulsiones asfálticas entre las cuales se puede señalar:

- ✓ La aplicación de la tecnología de las emulsiones asfálticas es de mucha importancia ya que constituyen un avance tecnológico en el proceso de asfaltado de carreteras.
- ✓ Las emulsiones tienen un sinnúmero de ventajas sobre el asfalto caliente o el rebajado, por lo que es importante extender el empleo de este tipo de tecnología a la magnitud de su red carretera del país.
- ✓ La utilización de esta tecnología no únicamente proporciona un ahorro en el proceso de asfaltado de las carreteras, sino que también mejora la adhesión del asfalto con el material granular, con un consecuente incremento en el tiempo de vida de la carpeta asfáltica y una mayor seguridad para el usuario de las mismas.

Otra investigación que apoya ampliamente la realización de este estudio es la auspiciada por Colegio de Ingenieros Civiles de Costa Rica Congreso CIC – 2010; realizada en San José de Costa Rica en Octubre 2010 bajo la autoría de **Mgtr. Ing. Wilder Rodríguez Mogollón** cuyo tema fue **“Pavimentos Económicos Sobre Vías Afirmadas”** en la cual se afirman entre otras las siguientes posturas:

- ✓ El uso de materiales granulares es una solución asegurar la transitabilidad de las vías de tercer orden o rurales.
- ✓ El empleo de materiales granulares constituye una solución económicas para carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito.
- ✓ Las obras de drenaje superficial como de drenaje subterráneo deben realizarse para asegurar la duración de la vía.

Estas investigaciones constituyen tan solo una porción muy pequeña de toda la gama de estudios que se han realizado y se están realizando dentro y fuera del país auspiciados por las más prestigiosas instituciones tanto del sector vialidad como del sector educativo y que apoyan y avalan la realización del presente trabajo investigativo en el departamento de Lambayeque.

## **2.2 BASE TEORICA**

### **2.2.1 CLASIFICACION DE LAS CARRETERAS EN NUESTRO PAIS**

#### **2.2.1.1 CLASIFICACION POR DEMANDA**

Las carreteras del Perú se clasifican, en función a la demanda en:

##### **2.2.1.1.1 AUTOPISTAS DE PRIMERA CLASE**

Son carreteras con IMDA (Índice Medio Diario Anual) mayor a 6.000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6,00 m; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60 m de ancho como mínimo, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

#### **2.2.1.1.2 AUTOPISTAS DE SEGUNDA CLASE**

Son carreteras con un IMDA entre 6.000 y 4.001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6,00 m hasta 1,00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60 m de ancho como mínimo, con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

#### **2.2.1.1.3 CARRETERAS DE PRIMERA CLASE**

Son carreteras con un IMDA entre 4.000 y 2.001 veh/día, de con una calzada de dos carriles de 3,60 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

#### **2.2.1.1.4 CARRETERAS DE SEGUNDA CLASE**

Son carreteras con IMDA entre 2.000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3,30 m de ancho como

mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

#### **2.2.1.1.5 CARRETERAS DE TERCERA CLASE**

Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3,00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2,50 m, contando con el sustento técnico correspondiente.

Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase.

#### **2.2.1.1.6 TROCHAS CARROZABLES**

Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4,00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m.

La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar.

## **2.2.2 PAVIMENTOS**

### **2.2.2.1 CONCEPTO DE PAVIMENTOS**

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas de materiales de mejoramiento y colocadas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y se construyen técnicamente con materiales adecuados y compactados.

Los Pavimentos que se usan generalmente en nuestro país se los puede clasificar de la siguiente manera:

#### **2.2.2.1.1 Pavimentos Flexibles o Asfálticos**

Este tipo de pavimentos está constituido por una capa de rodadura formada por material bituminoso o asfáltico, apoyado en la mayoría de los casos sobre dos capas de materiales no rígidos conocidos como base y sub-base, sin ser obligatoria la presencia de una de estas capas, justificándose la presencia de las mismas por características de los materiales que constituyen el pavimento.

#### **2.2.2.1.2 Pavimentos Semi-rígidos o Semi-flexibles**

Estos pavimentos tienen la misma estructura de los pavimentos asfálticos, con la diferencia que las capas que los conforman se encuentran rigidizadas de manera artificial, mediante la presencia de aditivos que en su mayoría de casos puede ser: asfalto, emulsión asfáltica, cementos, cal, enzimas y químicos.

El empleo de estos aditivos se justifica al corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales o cercanos a la obra, que no son aptos directamente para su uso como capas, que conforman la estructura del pavimento, teniendo en cuenta que los materiales más indicados con mejor

calidad pueden encontrarse a grandes distancias, que encarecerían notablemente los costos de construcción.

### 2.2.2.1.3 Pavimentos Rígidos

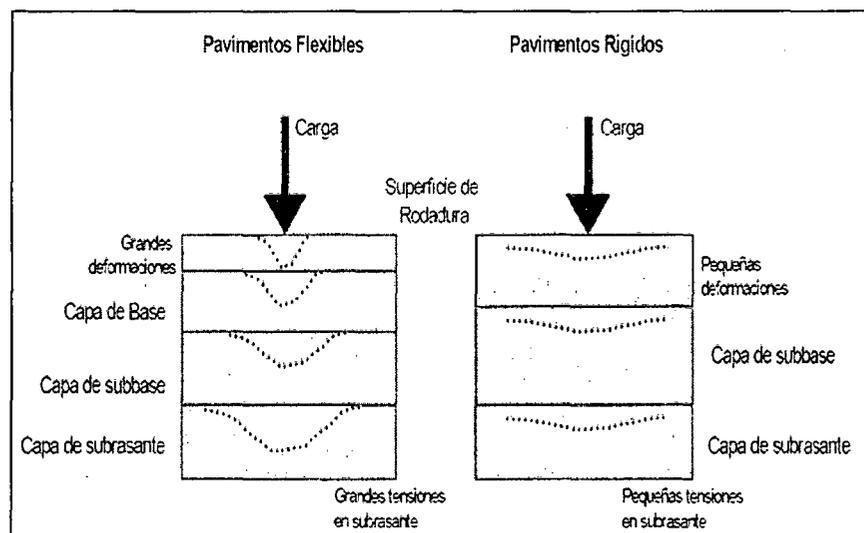
Son los que están constituidos principalmente por una losa de concreto y apoyados sobre materiales seleccionados o en otros casos sobre la sub-rasante.

Debido a la alta rigidez que presenta el hormigón, así como el elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se realiza sobre una amplia zona.

El hormigón también es capaz de resistir, en cierto nivel, los esfuerzos a tensión, por esta propiedad tiene un comportamiento muy aceptable cuando existan zonas débiles en la sub-rasante.

La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de las resistencias de las losas, por lo tanto la capacidad que ejercen las otras capas de pavimento tienen menor influencia en el diseño del espesor del pavimento.

La figura 1-1 Indica la diferencia de comportamiento entre los pavimentos Flexibles y Rígidos en presencia de una carga.



**Figura 2-1 Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos**  
**Fuente: ITURBIDE, J. (2002)**

### **2.2.2.2 ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS:**

El pavimento de manera general está compuesto por una serie de capas de la siguiente manera:

- Subrasante
- Subbase
- Base
- Superficie de rodadura

Las siguientes definiciones están basadas en el Manual Centro Americano para Diseño de Pavimentos (ITURBIDE, 2002).

#### **2.2.2.2.1 SUBRASANTE**

Es la capa de terreno de una vía que resiste la estructura del pavimento, ocupa hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Esta capa puede estar creada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes detalladas en los planos finales de diseño.

El grosor de pavimento está muy relacionado con la calidad de la subrasante, se busca que esta capa supere los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

El diseño de un pavimento de forma básica es el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

#### **2.2.2.2.2 SUBBASE GRANULAR**

Es la capa de la estructura del pavimento que tiene por funciones: soportar, transmitir y distribuir de manera uniforme

las cargas aplicadas desde la superficie de rodadura del pavimento a la subrasante.

La Subbase debe soportar las variaciones que pueden afectar al suelo, controla los cambios de elasticidad y volumen que pueden dañar el pavimento.

Esta capa se utiliza también como capa de drenaje y para el control de ascensión capilar de agua, cuidando la estructura de pavimento, por lo que ordinariamente se usan materiales granulares. La presencia de capilaridad en esta capa produce hinchamientos por acción del congelamiento del agua en temperaturas bajas, si no se dispone de una subrasante y Subbase adecuada se producirán fallas en el pavimento.

Esta capa de material actúa como material de transición entre la subrasante y la capa de base. Según la tabla 402-01 se presenta los requerimientos granulométricos para subbase granular

<b>Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular</b>				
<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que Pasa en Peso</b>			
	<b>Gradación A (1)</b>	<b>Gradación B</b>	<b>Gradación C</b>	<b>Gradación D</b>
50 mm. (2")	100	100	-	-
25 mm. (1")	-	75-95	100	100
9,5 mm. ( $\frac{3}{8}$ " )	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm. (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm. (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: ASTM D 1241

**Tabla 2-1 Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular**

- (1) La curva de Gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.

<b>Subbase Granular</b>					
<b>Requerimientos de Ensayos Especiales</b>					
Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mín.	35% mín.
Sales Solubles	MTC E 219	--	--	1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	--	D 4791	--	20% máx.	20% máx.

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1"(2.5 mm)  
(2) La relación ha emplearse para la determinación es 1/3 (espesor/longitud)

**Tabla 2-2 Subbase Granular Requerimientos de Ensayos Especiales**

### 2.2.2.2.3 BASE

Es la capa que conforma la estructura del pavimento ubicada entre la sub base y la capa de rodadura que tiene como funciones: la distribución y transmisión de las cargas generadas por el tránsito, a capas inferiores del pavimento como: la Sub-base y a través de ésta a la sub-rasante, y es la capa que sirve de soporte a la capa de rodadura. Las bases especificadas son las siguientes:

- Base granular
- Base Estabilizada

#### 2.2.2.2.3.1 BASE GRANULAR

Es la capa que conforma la estructura del pavimento ubicada entre la sub-base y la capa de rodadura, esta capa está constituida por piedra de buena calidad triturada, grava y

mezclada con material de relleno, arena y suelo, en su estado natural.

Los materiales que forman esta capa deben ser clasificados para formar una base integrante de la estructura de pavimento.

Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, todas estas propiedades dependerán de la relación entre la cantidad de finos y de agregado grueso.

#### **2.2.2.2.3.2 BASE ESTABILIZADA**

Es la capa que conforma la estructura del pavimento ubicada entre la subbase y la capa de rodadura, esta capa está constituida por piedra de buena calidad triturada grava y mezclada con material de relleno, arena y suelo, esta mezcla se combina con materiales o productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia, para constituir una base integrante del pavimento destinada.

Fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de Subbase.

Los materiales estabilizadores más utilizados son: asfalto, enzimas, emulsiones asfálticas, cemento y cal.

Fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de Sub-base.

Los materiales estabilizadores más utilizados son: asfalto, enzimas, emulsiones asfálticas, cemento y cal.

#### 2.2.2.2.4 SUPERFICIE DE RODADURA

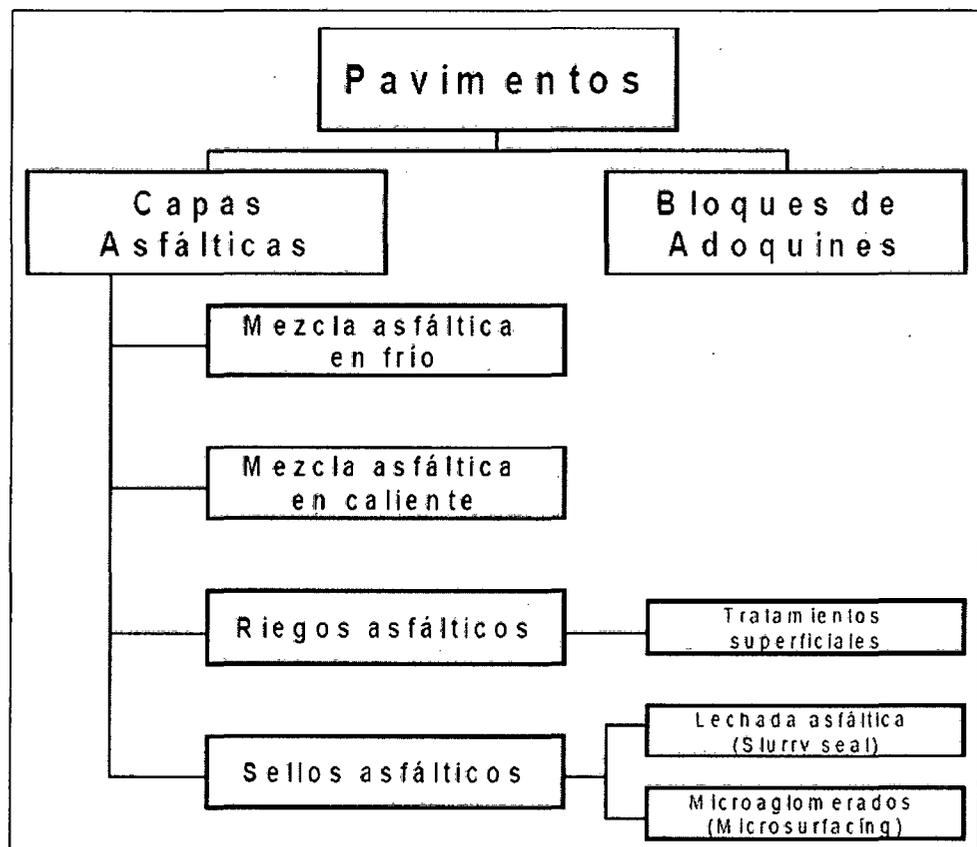
Es la capa que conforma la estructura del pavimento más externa, se coloca sobre la base.

La función principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para el ingreso del agua lluvia por filtración que puede saturar las capas inferiores.

La capa de rodadura evita el deterioro de las capas inferiores a causa del tránsito de vehículos.

La capa de rodadura aumenta la capacidad soporte del pavimento, por que absorbe cargas, este aumento es apreciable para espesores mayores a 4 centímetros, en el caso de riegos superficiales se considera el aumento nulo.

Las superficies de rodadura de los pavimentos flexibles se dividen, según se muestra en la siguiente figura:



**Figura N° 2-2 Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles**  
**Fuente: ITURBIDE, J. (2002)**

### **2.2.3 CAPAS ASFÁLTICAS**

#### **2.2.3.1 Hormigón asfáltico.**

Se denomina a hormigón asfáltico, concreto bituminoso u hormigón bituminoso, a la mezcla de agregados de asfalto y mezcla de materiales minerales, estos últimos materiales minerales se encuentran en diferentes tamaños; esta mezcla se extiende en capas y se compacta.

Este material es el más común utilizado en la construcción de vial.

La mezcla de los materiales que componen el hormigón asfáltico puede ser hecha en caliente o en frío.

Presentan buenas propiedades impermeabilizantes por este motivo también es utilizado en los núcleos de presas como impermeabilizante.

La definición de ingeniería de hormigón incluye cualquier material compuesto por un agregado cementado con un aglutinante, que puede ser cemento Portland o asfalto.

#### **2.2.3.2 Mezcla asfáltica en frío**

Se denomina mezcla asfáltica en frío a la combinación de agregados pétreos con asfaltos rebajados o aglomerantes bituminosos, un ejemplo de estos aglomerantes son las emulsiones asfálticas. Los materiales pétreos deben cumplir con los requisitos especificados, estos materiales serán mezclados con procedimientos controlados sin la necesidad de un calentamiento previo, la finalidad de estos procedimientos es garantizar como resultado un nuevo material con características definidas.

### **2.2.3.3 Mezcla asfáltica en caliente**

Se denomina mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos, materiales que deben cumplir con los requisitos especificados, los materiales mezclados mediante procedimientos controlados en caliente, darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

### **2.2.3.4 Riegos asfálticos**

Son riegos sucesivos alternados de material bituminoso y agregados pétreos triturados, que son compactados buscándose conseguir un material compactado lográndose un mayor densidad por motivo de una mejor acomodación.

El uso de los riegos asfálticos presenta una serie de ventajas como: brindar a la superficie las condiciones de impermeabilidad, aumenta la resistencia al desgaste y mejora la suavidad para el rodaje.

Brinda a la superficie las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad para el rodaje.

Se clasifican en tratamientos superficiales simples, dobles y triples.

### **2.2.3.5 Tratamientos superficiales**

Los Tratamientos Superficiales se basan en la aplicación de material asfáltico sobre una superficie preparada de base, el riego y compactación del material pétreo graduado, que sirve de cubierta y se colocará sobre el material asfáltico en diferentes capas alternándolas.

#### **2.2.3.6 Sellos asfálticos**

Consiste en impermeabilizar una superficie asfáltica ya existente mediante el revestimiento con emulsiones asfálticas y agregado fino, se consigue eso mediante el llenado de vacíos y de grietas, El uso de sellos asfáltico evitar la desintegración de superficies asfálticas desgastadas y mejorar su resistencia contra el deslizamiento aumentando la durabilidad del pavimento. Se pueden mencionar dos tipos de sellos asfálticos: La lechada asfáltica (slurry seal) y los microaglomerados (microsurfacing).

#### **2.2.3.7 Lechada Asfáltica (Slurry Seal)**

Consiste en una mezcla de agregados pétreos, emulsión asfáltica, agua y aditivos, que proporcionan una mezcla homogénea, que se aplica sobre un pavimento, como un tratamiento de sellado con el fin de impermeabilizarlo; proporcionando una textura resistente, antideslizante y adherida firmemente a la superficie.

#### **2.2.3.8 Microaglomerados (Microsurfacing)**

El Microsurfacing consiste en una mezcla de emulsión catiónica de asfalto modificado con polímeros, agregados minerales, rellenos, agua y otros aditivos que son tendidos sobre una superficie pavimentada.

El uso de Microsurfacing presenta las siguientes ventajas:  
Evita la desintegración de superficies asfálticas desgastadas y; mejora la resistencia contra el deslizamiento, aumentando su durabilidad.

### **2.2.4 BLOQUES DE CONCRETO**

#### **2.2.4.1 Adoquines**

Los adoquines o bloques son elementos construidos con material pétreo y cemento, pueden tener varias formas, prefiriéndose las formas regulares.

Los adoquines son colocados sobre una cama de arena de 3 a 5 centímetros de espesor, la que tiene como función de absorber las irregularidades de la base.

La cama de arena proporciona a los adoquines un acomodamiento adecuado, ofrece una sustentación y apoyo uniforme en toda su superficie. Además sirve para drenar el agua que se filtra por las juntas, evitando que se dañe la base.

## 2.2.5 EMULSIONES ASFALTICAS

En el presente capítulo se ha tomado como referencia los conceptos del Manual Básico de Emulsiones MS 19 (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001)

### 2.2.5.1 CONCEPTO DE EMULSION ASFÁLTICA

Desde el punto de vista físico – químico, de una manera muy general una emulsión es una dispersión de un líquido en otro este último debe ser inmisible.

Por dicho anteriormente una emulsión asfáltica es una dispersión de micro partículas de cemento asfáltico en una matriz acuosa estabilizada.

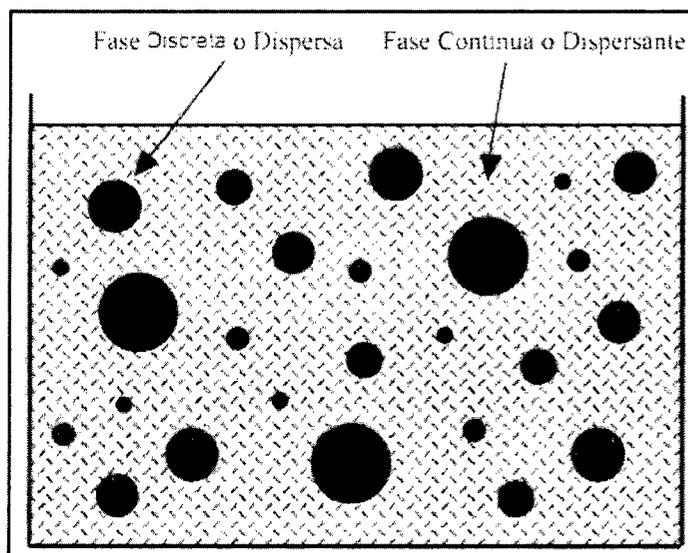


Figura 2-3 Diagrama Esquemático de una Emulsión (INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE)

Existen dos tipos de emulsiones según la fase dispersa y dispersante, de la siguiente manera:

#### **2.2.5.1.1 Emulsión Directa**

Una emulsión es directa cuando la fase dispersa es hidrocarbonada y la fase dispersante es agua.

#### **2.2.5.1.2 Emulsión Inversa**

Una emulsión es inversa cuando la fase dispersa es acuosa y la fase dispersante un asfalto de petróleo.

Las emulsiones tienen tres ingredientes básicos: asfalto, agua y un agente emulsificante. El agente emulsificante puede contener un estabilizador.

La finalidad de fabricar emulsiones es conseguir una dispersión de cemento asfáltico en el agua, esta emulsión debe ser estable para facilitar su manipulación en actividades de bombeo, almacenamiento prolongado y mezclado.

Las emulsiones deben garantizar su rompimiento después del contacto con agregados al momento de la mezcla o después de un riego sobre una superficie.

Después del rompimiento de la emulsión asfáltica, sufrirá su curado, aquí quedará solamente el asfalto residual, este asfalto mantiene las características de adhesividad, durabilidad y resistencia al agua del cemento asfáltico puro empleado para la fabricación de la emulsión.

### 2.2.5.2 ESTRUCTURA QUÍMICA

Por el tipo de emulsificante las emulsiones se clasifican en tres grupos:

- ✓ Aniónica
- ✓ Catiónicas
- ✓ No iónicas

En la construcción y mantenimiento vial se utilizan las dos primeras, la última puede ser utilizada a futuro.

Las clases Aniónica y Catiónica se refieren a las cargas eléctricas que rodean las partículas de asfalto.

La identificación se deriva del sistema de leyes básicas de electricidad - cargas, cargas de igual signo se repelen y de diferente signo se atraen. Cuando se carga dos polos cátodo y ánodo (positivo y negativo), se sumergen en un líquido a través del cual se pasa una corriente eléctrica, el ánodo se carga de forma positiva y el cátodo de forma negativa. Si se pasa una corriente a través de la emulsión que contiene partículas de asfalto negativamente cargadas estas migran al ánodo. La emulsión en este caso se llama aniónica. En caso inverso serán emulsiones catiónicas. Las emulsiones no iónicas tienen partículas de asfalto neutras y no migran a ningún polo.

Las emulsiones puede clasificarse según la velocidad de rotura, que es la velocidad que la emulsión vuelve a ser cemento asfáltico.

Por facilidad se utilizan letras de la velocidad en idioma inglés, los términos que significan Rotura rápida RS (Rapid Setting), Rotura Media MS (Medium Setting) y Rotura lenta SS (Slow Setting).

La rotura es una propiedad propia de cada emulsión que puede facilitar el mezclado. Una emulsión RS tiene mínima o carece de habilidad para mezclarse con un agregado, una emulsión MS se espera que se mezcle con agregados gruesos pero no finos y una emulsión SS permite la mezcla con agregados finos.

Las emulsiones se subdividen adicionalmente mediante la incorporación de números que indican la viscosidad y la dureza de los cementos asfálticos utilizados como bases. Se incorpora la letra "C" anterior al tipo de emulsión que significa que esta emulsión es catiónica, la ausencia significa que es aniónica o iónica.

Las normas ASTM adicionan tres grados de emulsión aniónica de alta flotación y rotura media, se denomina HFMS. Estos grados tienen su uso en mezclas en planta frías y calientes, riegos de sellado de agregados gruesos y mezclas en vía. Las emulsiones de alta flotación tienen una cualidad especial la formación de películas de cubrimiento más gruesas sin riesgos de escurrimiento. Para condiciones especiales se desarrolló un tipo de emulsión de rotura veloz QS (Quick Setting) para las lechadas asfálticas, el uso de estas va en crecimiento por dar solución a los problemas relacionados con el uso de lechadas.

Emulsión Asfáltica Aniónica (ASTM D977, AASHTO M140)	Emulsión Asfáltica Catiónica (ASTM D2397, AASHTO M208)
RS - 1 (RR - 1)	CRS - 1 (CRR - 1)
RS - 2	CRS - 2
HFRS - 2	----
MS - 1 (RM - 1)	----
MS - 2	CMS - 2 (CRM - 2)
MS - 2h	CMS - 2h
HFMS - 1	----
HFMS - 2	----
HFMS - 2h	----
HFMS - 2s	----
SS - 1 (RL - 1)	CSS - 1 (CRL - 1)
SS - 1h	CSS - 1h

**Tabla 2-3 Clasificación de las emulsiones asfálticas.**

### **2.2.5.3 COMPOSICIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA**

Las emulsiones asfálticas tienen los siguientes componentes básicos:

- ✓ Cemento Asfáltico
- ✓ Solución Jabonosa

A su vez la solución jabonosa está compuesta por:

- ✓ Agua
- ✓ Agente emulsificante.

#### **2.2.5.3.1 CEMENTO ASFÁLTICO**

##### **2.2.5.3.1.1 Proveniencia del Asfalto**

El asfalto es el elemento básico en la preparación de la emulsión, representado por el cemento asfáltico, el cual constituye entre un 50 y un 75% de la emulsión. Algunas de sus propiedades afectan significativamente la emulsión final, sin embargo, no existe una correlación exacta entre las propiedades del asfalto y la facilidad con que el asfalto pueda ser emulsionado.

El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre la fase continua y la dispersa (BRACHO, 2005). El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, el cual provee de una razonable explicación de dicha estructura, en el cual existen dos fases; una discontinua (aromática) formada por los asfáltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos, denominada maltenos.

Las resinas contenidas en los maltenos son intermediarias en el asfalto, cumpliendo la misión de

homogeneizar y compatibilizar a los insolubles asfáltenos.

Los maltenos y asfaltenos existen flotando en el tercer componente del asfalto, los aceites.

ASFALTENOS	MALTENOS
Compuestos Polares Hidrocarburos Aromáticos Peso molecular mayor 1.000 Precipitan como sustancias oscuras por dilución con parafinas de bajo punto de ebullición (pentano-heptano)	Compuestos No polares Hidrocarburos Alifáticos más Nafténicos y Aromáticos Peso molecular hasta 1.000 Medio continuo

**Tabla 2-4 Cuadro comparativo entre los componentes del asfalto**  
Fuente: BRACHO; 2005

Los asfaltos más utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados de petróleo, los cuales se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más del 90 % de la producción total de asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto, a veces casi en su totalidad. Sin embargo, existen algunos crudos, que no contienen asfalto.

En base a la proporción de asfalto que poseen, los petróleos se clasifican en:

- ✓ Petróleos crudos de base asfáltica.
- ✓ Petróleos crudos de base parafínica.

#### 2.2.5.3.1.2 Tipos de Asfaltos

Los asfaltos de pavimentación se obtienen por reducción directa y progresiva de los residuos derivados de la destilación de los petróleos crudos, o por precipitación de los asfaltenos mediante solvente

especiales. Estos asfaltos se utilizan en la pavimentación de carreteras y en pistas de aterrizaje de aeropuertos. Las características de los asfaltos obtenidos por destilación al vacío y por precipitación o extracción con solventes son aproximadamente las mismas.

Los asfaltos de impermeabilización, o asfaltos oxidados se producen al hacer burbujear aire a través del asfalto calentado entre 200 y 300 °C.

Los asfaltos diluidos son aquellos que se obtienen por dilución, en línea, de los asfaltos de penetración en caliente con un solvente adecuado.

La mezcla con solventes evita el calentamiento excesivo que debe proporcionarse a un asfalto de pavimentación para proporcionar la fluidez necesaria en las operaciones de cubrimiento. Por este motivo, se suelen diferenciar las operaciones de asfalto en caliente de las de asfalto en frío (cuando se utilizan asfalto diluidos o rebajados).

A los asfaltos diluidos se les clasifica de acuerdo al tipo de solvente que se utilice en su preparación.

De esta manera se tienen:

- ✓ Los asfaltos de fraguado rápido RC (rapid curing), en los que se utiliza nafta como solvente,
- ✓ Los de fraguado medio MC (medium curing), donde se emplea kerosene,
- ✓ Los de fraguado lento SS (slow curing), con base diesel oil como solvente.

Los asfaltos de fraguado rápido se utilizan cuando se requieren periodos muy cortos de fraguado.

Los de fraguado medio tienen aplicación en las operaciones donde se requiere un cubrimiento más completo del agregado y una mayor penetración en las hendiduras o porosidades del material pétreo.

Los asfaltos de fraguado lento tienen pocas aplicaciones, normalmente su uso se ha restringido al logro de capas antipolvo y estabilización de arenas.

En la elaboración de emulsiones se utiliza asfaltos con rango de penetración 100 a 200. Debido a los problemas de contaminación y de costos inherentes no se justifica el uso de asfaltos rebajados en la elaboración de emulsiones asfálticas. La siguiente figura representa los diferentes tipos de asfaltos que se obtienen luego del proceso de destilación del crudo.

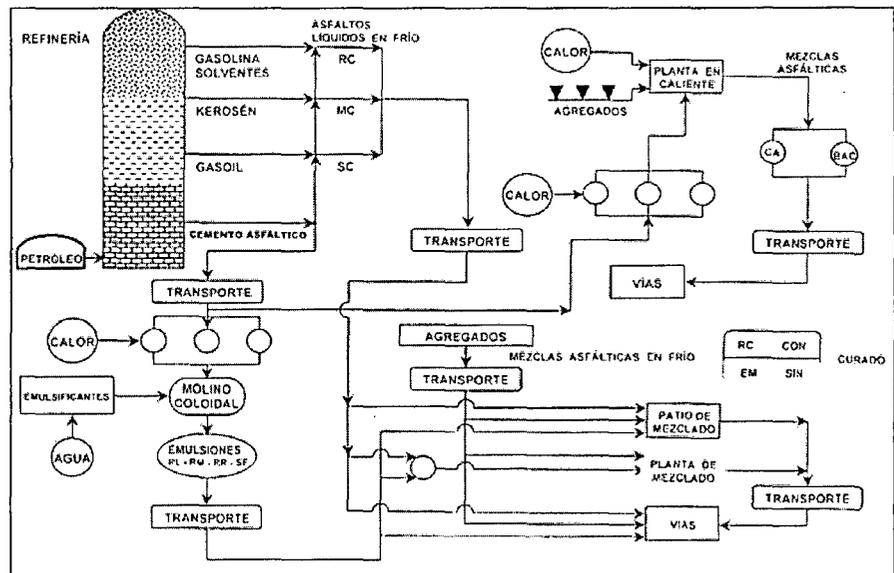


Figura 2-4 Tipos de asfaltos derivados de la destilación de crudo (BRACHO, 2005)

### **2.2.5.3.1.3 PRUEBAS A QUE DEBE SER SOMETIDO UN ASFALTO.**

Antes de ser utilizado, el asfalto debe ser sometido a una serie de pruebas que permiten determinar algunas propiedades que debe cumplir para un uso particular. Los diferentes ensayos se agrupan en cinco categorías:

#### **2.2.5.3.1.3.1 Ensayos para medir consistencia**

La consistencia se define como el grado de fluidez que tiene un asfalto a una determinada temperatura. El asfalto es un material termoplástico, por lo que su consistencia varía en mayor o menor grado con la temperatura. Si se quiere realizar comparaciones entre ellos, es necesario medir su consistencia a una misma temperatura de condición de carga. Los ensayos más utilizados para medir la consistencia de los cementos asfálticos son los siguientes:

- ✓ Viscosidad absoluta a 140 °F (60 °C) ASTM D-2171
- ✓ Viscosidad cinemática a 275 °F (135 °C) ASTM D-2171
- ✓ Viscosidad Saybolt Furol ASTM E102-93(2003)
- ✓ Penetración a 25 °C ASTM D-5

#### **2.2.5.3.1.3.2 Ensayos de durabilidad**

Los cementos asfálticos sufren un mayor o menor grado de envejecimiento cuando son mezclados con los agregados en una planta asfáltica en caliente. El envejecimiento continúa durante toda la vida del pavimento por la acción del medio ambiente y otros factores.

Los siguientes ensayos son utilizados para medir de manera más o menos aproximada el envejecimiento de un cemento asfáltico.

- ✓ Película delgada (TFO) ASTM D-1754
- ✓ Rolling Thin Film Oven (RTFO) o Película fina rotativa ASTM D-2872.

#### **2.2.5.3.1.3.3 Ensayos de pureza**

Los cementos asfálticos están constituidos por bitumen puro, el cual por definición es completamente soluble en disulfuro de carbono. Sólo un porcentaje muy pequeño de impurezas está presente en el cemento asfáltico obtenido de refinería. Para determinar el grado de impureza del cemento asfáltico se utiliza el siguiente ensayo:

- ✓ Solubilidad ASTM D-2042

#### **2.2.5.3.1.3.4 Ensayos de seguridad**

Si el cemento asfáltico es calentado a temperaturas altas, se producen vapores que en presencia de alguna chispa se pueden incendiar. Por lo tanto se hace necesario realizar los siguientes ensayos:

- ✓ Punto de inflamación o Flash Point.
- ✓ Método de la copa Cleveland. ASTM D-92

#### **2.2.5.3.1.3.5 Otros ensayos**

- ✓ Peso específico Ensayo de ductilidad
- ✓ Ensayo de la mancha

### **2.2.5.3.2 SOLUCIÓN JABONOSA**

#### **2.2.5.3.2.1 AGUA**

El segundo componente en porcentaje de la emulsión es el agua, corresponde al 98 por ciento de la

solución jabonosa. Entre los principales aportes del agua a la emulsión se tiene, el humedecimiento, la disolución y adherencia a otras sustancias; facilita las reacciones químicas.

El agua puede contener en su estructura otras sustancias que afecten la estabilidad de la emulsión en su fabricación.

Es muy recomendable el control del tipo de agua utilizado, para evitar el uso de agua inadecuada por impurezas, en solución y suspensión. Se debe tener especial cuidado con la presencia de iones de calcio y magnesio que afectan las propiedades de la emulsión.

Agua con presencia de materias extrañas no deben ser utilizadas en la producción de emulsiones porque originan desbalances en componentes de la emulsión que afectan el comportamiento de la emulsión y pueden producir rotura prematura.

En la fabricación de emulsiones se garantizara la pureza del agua, evitando sustancias que perjudiquen sus propiedades.

#### **2.2.5.3.2.2 AGENTE EMULSIFICANTE**

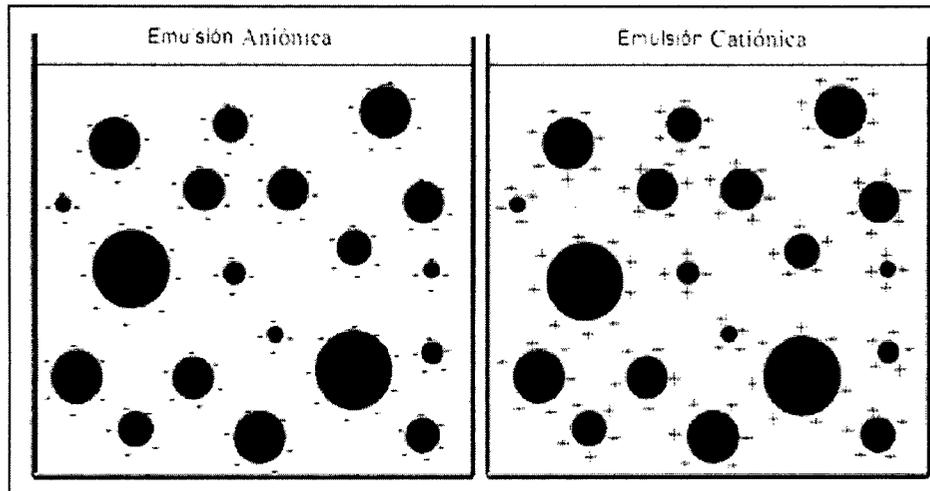
Este componente representa una cantidad muy pequeña en la emulsión pero tiene gran influencia porque depende de este producto químico conocido como “Surfactante” que determina si la emulsión se clasifica como aniónica, catiónica o no iónica. El emulsificante mantiene en suspensión a las

partículas del asfalto y controla la rotura oportuna. El surfactante controla la tensión superficial entre el área de contacto entre las partículas de asfalto y el agua. Existen gran variedad de agentes emulsificantes su selección se la realiza en basada en la compatibilidad con el cemento asfáltico utilizado.

En las primeras emulsiones asfálticas se utilizó como agente emulsificante materiales como sangre de buey, arcillas y jabones, el incremento de la necesidad de emulsiones genero la investigación de materiales nuevos más eficientes, en la actualidad son sustancias químicas vendidas comercialmente.

La mayoría de emulsificantes catiónicos (cargados positivamente) están compuestos por aminas grasas, que se las convierte en jabón con la incorporación de ácidos como el ácido clorhídrico. Otro agente emulsificante catiónico se forma con sales cuaternarias de amonio, disueltas en agua sin necesidad de agregar ácidos.

Los fabricantes de emulsiones tienen sus propios procedimientos para incorporar los agentes a la emulsión, una forma de agregar es combinar el agente con el agua antes de mezclar con el asfalto en el molino coloidal, otros pueden combinar el agente con asfalto.



**Figura 2-5 Representación de una Emulsión Aniónica y Catiónica.  
(INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE)**

#### **2.2.5.4 VARIABLES QUE AFECTAN LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA**

Las emulsiones tienen muchos factores que afectan sus características en las diferentes etapas de fabricación, almacenamiento, uso y comportamiento. Todos los factores tienen igual importancia en la afectación de la emulsión. Entre las variables tenemos las siguientes:

- ✓ Propiedades químicas de la base de cemento asfáltico.
- ✓ Dureza y cantidad del cemento asfáltico de base
- ✓ Tamaño de las partículas de asfalto en la emulsión.
- ✓ Tipo y concentración del agente emulsivo.
- ✓ Condiciones de elaboración tales como temperatura, presión, y esfuerzo para separar las partículas de asfalto (afectan al molino coloidal)
- ✓ Carga iónica en las partículas de emulsión.
- ✓ Orden en que se agregan los elementos.
- ✓ Tipo de equipo empleado en la elaboración de la emulsión.
- ✓ Propiedades del agente emulsivo.
- ✓ Adición de modificadores químicos o de polímeros.
- ✓ Calidad del agua (dureza del agua)

Muchos de los factores expuestos variaran según la disponibilidad de tecnología, materias primas y de los procesos constructivos. Para la combinación entre agregados y asfalto, la calidad del asfalto la dará el proveedor de la emulsión.

## **2.2.5.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DE LAS EMULSIONES PRODUCCIÓN DE LA EMULSIÓN**

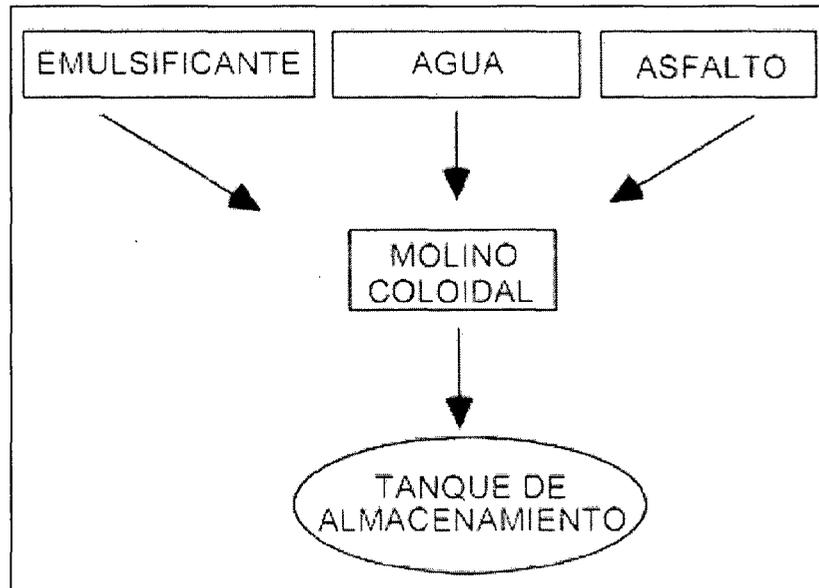
### **2.2.5.5.1 Equipo Emulsificador:**

El equipo común utilizado en la fabricación de emulsiones debe constar de un dispositivo mecánico de alta velocidad y altamente cortante, en términos generales se utiliza un molino coloidal que se encarga de dividir el asfalto en partículas minúsculas denominadas glóbulos.

Además se utiliza un tanque de solución emulsificante, un tanque para calentar el asfalto, bombas y medidores de flujo. El molino coloidal consta de un rotor de alta velocidad que se encarga de girar a velocidades de 1000 a 6000 revoluciones por minuto (17 – 100 HZ), tiene la facultad de regular las partículas a tamaños de 0.01 a 0.02 pulgadas (0.25 a 0.50 mm).

Esta regulación permite la producción de emulsiones con glóbulos de asfalto con diámetros menores al diámetro de un cabello humano porque tienen dimensiones de 0.001 a 0.005 pulgadas (0.025 a 0.125 mm). Los tamaños de los glóbulos de asfalto dependen del equipo utilizado y que permita cambiar las tolerancias de tamaños.

La medición del asfalto y la solución emulsificante en el molino coloidal se la realiza por medio de bombas separadoras construidas con materiales resistentes a la corrosión que es una característica de la solución emulsificante.



**Figura 2-6 Proceso general de la fabricación de emulsiones asfálticas. (INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE)**

#### **2.2.5.5.2 Proceso de Emulsificación:**

El método más utilizado para la producción de emulsiones consiste en enviar flujos de cemento asfáltico fundido y agua tratada en dirección de la entrada del molino coloidal utilizando bombas que desplacen estos materiales.

El asfalto y el agente emulsificante son expuestos a grandes esfuerzo de corte en el paso por el interior del molino coloidal. El resultado es una emulsión que puede movilizarse utilizando bombas a través de un intercambiador térmico.

El aumento de calor busca la finalidad de aumentar la temperatura del agua emulsificante antes de la entrada del molino coloidal. La emulsión es bombeada desde el intercambiador de calor a tanques de almacenamiento en bruto. Estos tanques pueden contener dispositivos agitadores en su interior con el fin de garantizar un mezclado uniforme.

El cemento asfáltico que es principal componente de la emulsión es calentado para ingresar al molino coloidal, aquí reduce el tamaño para formar los glóbulos. En el mismo instante, se agrega el agua que contiene el agente emulsificante. El objetivo del calentamiento del asfalto es conseguir una baja viscosidad, se ajusta la temperatura del agua a la temperatura del asfalto.

La variación de la temperatura es el resultado de las características del cemento asfáltico y la compatibilidad entre el asfalto y agente emulsificante.

En ningún caso se utilizan temperaturas extremas para la fabricación de la emulsión en el molino, las temperaturas deben estar bajo el punto de ebullición del agua.

Cada fabricante de emulsión elige la técnica que adición de emulsificante al agua relacionada con procedimiento de fabricación.

Los emulsificantes como las aminas consiguen su solubilidad con el agua, al mezclarlos y reaccionar con ácidos como el clorhídrico. Otros emulsificante como los ácidos grasos consiguen su solubilidad mezclándolos y reaccionado con álcalis, como el hidróxido de sodio, la forma de mezclado es realizando con un mezclador por lotes. El emulsificante se introduce en agua caliente que contiene ácido álcali, y se agita hasta su completa disolución.

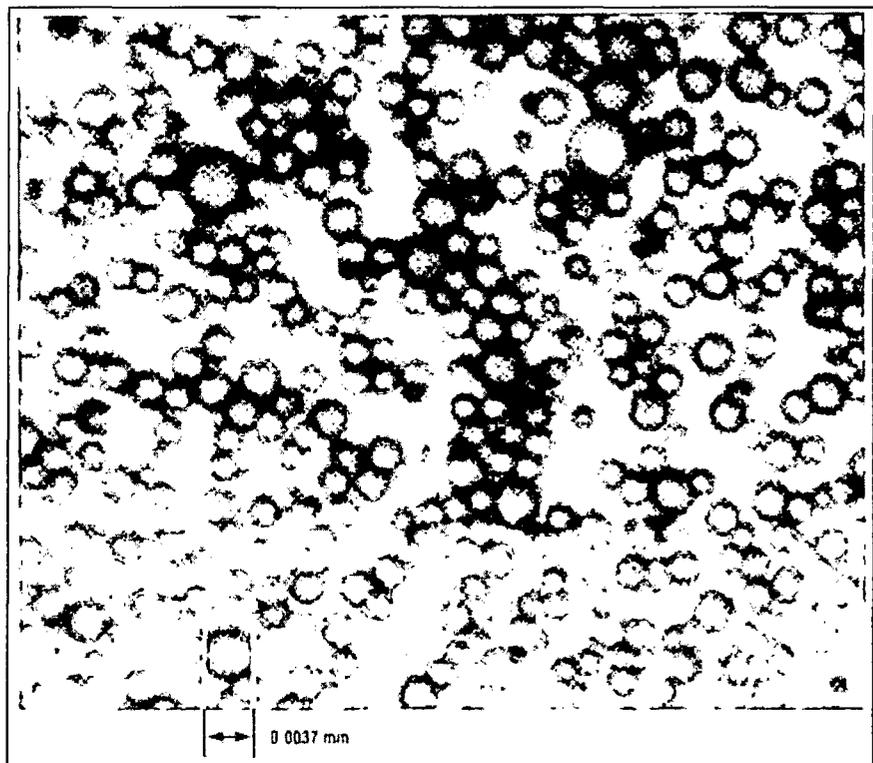
La forma expuesta anteriormente explica como el asfalto y la solución asfáltica se dosifica de manera precisa. Otro aspecto importante que se puede observar es la temperatura de cada fase y la descarga del molino mediante medidores. Esto permite una forma de dosificación por temperatura que calcula la temperatura de salida de la emulsión terminada relacionando con las temperaturas de ingreso de los diferentes ingredientes de la emulsión.

Un factor muy importante en la fabricación de emulsiones estables es el tamaño de las partículas de asfalto.

Un análisis microscópico de tamaños de promedio de partículas de una emulsión revela los siguientes datos:

Tamaño	Porcentaje
Menores que 0,001 mm (1 $\mu$ )	28%
0,001 - 0,005 mm (1-5 $\mu$ m)	57%
0,005 - 0,010 mm (5-10 $\mu$ m)	15 %

**Tabla 2-5 Análisis microscópico de tamaños de promedio de partículas de una emulsión**



**Figura 2-7 Microfotografía que demuestra los tamaños y distribución de las partículas de Asfalto (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001)**

Las partículas finas en forma de asfalto con tamaño microscópico se esparcen en el agua por la presencia del emulsivo (surfactante). El surfactante produce un cambio en la tensión superficial en el área de contacto entre las gotitas de asfalto y el agua, permitiendo así que el asfalto permanezca en suspensión. Las partículas de asfalto, todas con similares cargas eléctricas, se repelen entre sí, lo que ayuda a mantenerlas suspendidas.

## **2.2.5.6 ROTURA Y CURADO DE UNA EMULSIÓN**

### **2.2.5.6.1 ROTURA.**

Para que la emulsión asfáltica cumpla su objetivo final, esto es, actúe como ligante con propiedades cementantes e impermeabilizantes, el agua debe separarse de la fase asfáltica y evaporarse. Esta separación se denomina “rotura” (breaking). (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001).

Para tratamientos superficiales y sellos, se formulan las emulsiones para romper una vez entren en unión con una sustancia extraña tal como un agregado o la superficie de un pavimento. Los glóbulos de asfalto entran en coalescencia y producen una membrana continua de asfalto sobre el agregado o pavimento. Para mezclas densas, se requiere más tiempo para admitir el mezclado y fraguado. En resultado, las emulsiones utilizadas para mezclas se sugieren para rotura retardada. La coalescencia del asfalto se conoce como rotura o fraguado. La velocidad a la cual los glóbulos de asfalto se separan de la fase acuosa se identifica como tiempo de rotura o fraguado. Por ejemplo, una emulsión de rotura rápida romperá entre uno a cinco minutos después de ser aplicada, mientras que una emulsión de rotura media o lenta puede tomar un tiempo mayor.

La velocidad de rotura depende de factores como: el tipo específico y concentración del agente emulsificante empleado en la emulsión, así como por las condiciones

atmosféricas.

La tasa de absorción de los diferentes tipos de agregados favorece la succión de líquidos, afectando la rotura porque está vinculada con las características de absorción del agregado usado. Los agregados con altas tasas de absorción tienden a acelerar la rotura de la emulsión por motivo de una remoción más rápida del agua emulsionante.

La velocidad de rotura en agregados que constituyen mezclas formadas por emulsión y agregado, la gradación y área superficial del agregado son también factores significativos. Al cambiar el área superficial, las características de rotura del medio también cambian debido a la alteración de la absorción (acumulación en la superficie) del agente emulsificante por el agregado. Con miras a obtener óptimos resultados, es necesario controlar el tamaño del agregado o ajustar la formulación de la emulsión para cumplir los requisitos del agregado.

#### **2.2.5.6.2 CURADO**

Para usos en pavimentación, tanto las emulsiones aniónica como las catiónicas dependen de la evaporación del agua para el desarrollo de sus características de curado y adherencia. El desplazamiento del agua puede ser bastante rápido bajo entornos favorables del clima; pero, pueden interferir con un curado apropiado una alta humedad, baja temperatura o lluvia, poco tiempo después de la aplicación. A pesar de que las condiciones superficiales y atmosféricas son menos críticas para las emulsiones catiónicas que para las aniónicas, aún dependen de las condiciones climáticas para lograr óptimos resultados.

Una de las principales ventajas del uso de emulsiones catiónicas, es la propiedad de dejar el agua un poco más.

La teoría tradicional propone que las emulsiones aniónicas por tener carga negativas en los glóbulos de asfalto

tienen un mejor comportamiento cuando se los combina con agregados en que mayoritariamente tengan cargas positivas en su superficie como las calizas. La teoría también sostiene que las emulsiones catiónicas por tener las cargas positivas sobre los glóbulos de asfalto, dan como resultado un comportamiento mejor con agregados que tiene cargas negativas en superficie como agregados silíceos o graníticos. No existe un acuerdo sobre esto porque existen estudios recientes que contradicen las teorías tradicionales.

Cuando se usan emulsiones de rotura rápida tanto aniónicas como catiónicas, la sedimentación inicial del asfalto se desarrolla en función de fenómenos electromecánicos.

La generación de la principal unión resistente entre la película de asfalto y los agregados, viene después de la pérdida del agua emulsificante. Esta película de agua puede ser desplazada por evaporación, presión (envolvimiento), o por absorción. En el uso real, la rotura es generalmente una función de la combinación de estos tres factores.

#### **2.2.5.7 FACTORES QUE AFECTAN LA ROTURA Y EL CURADO.**

Algunos de los factores que afectan las velocidades de rotura y curado de las emulsiones asfálticas son:

- a. Absorción de agua.-** Un agregado de textura áspera, poroso, acelera el tiempo de rotura al absorber agua de la emulsión.
- b. Contenido de humedad de los agregados.-** los agregados húmedos facilitan el recubrimiento, pero hacen más lento el proceso de curado al aumentar el tiempo necesario para la evaporación.
- c. Condiciones climáticas.-** La temperatura, la humedad, y la velocidad del viento tienen influencia en la velocidad de evaporación del agua, en la migración del emulsivo y en las características de liberación del agua. Las altas temperaturas

pueden originar la formación de “piel” en tratamientos superficiales (chips seals) atrapando el agua y retardando el curado. Fuerzas mecánicas.- La presión de los rodillos y en poca cantidad el tráfico a baja velocidad, desalojan el agua de la mezcla y mejoran la cohesión, el curado y la estabilidad de la mezcla.

- d. Superficie específica.-** Una mayor superficie específica de los agregados, particularmente finos en exceso o agregado sucio, acelera la rotura de la emulsión.
- e. Química de superficies.-** Las intensidades de la carga de la superficie del agregado y la intensidad de la carga del agente emulsivo, pueden influir intensamente en la velocidad de rotura.
- f. Temperatura de la emulsión y el agregado.-** La rotura se demora cuando las temperaturas de la emulsión y el agregado son bajas.
- g. Tipo y cantidad de emulsivo.-** El surfactante empleado en la elaboración de la emulsión determina las características de rotura de los grados de emulsiones para sellados y para mezclas.

## **2.2.5.8 PROPIEDADES BÁSICAS DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS**

Las emulsiones asfálticas poseen dos tipos de propiedades; las intrínsecas, aquellas propiedades internas naturales de la emulsión y son las mismas que presentan cualquier ligante asfáltico: viscosidad, adhesividad y cohesividad; y las propiedades mecánicas que condicionan su comportamiento como ligante en la construcción de pavimentos.

### **2.2.5.8.1 Propiedades intrínsecas**

#### **2.2.5.8.1.1 Viscosidad**

Viscosidad es la resistencia que desarrolla un líquido al oponerse al movimiento de las partículas que lo conforman o se encuentran en su interior. Esta propiedad resulta de gran

interés e importancia al momento de definir una emulsión adecuada para cada tratamiento. Cuando la emulsión es de baja viscosidad se puede utilizar para hacer riegos de imprimación y en gran parte para estabilizaciones de suelo, mientras que si es de alta viscosidad, será empleada en tratamientos superficiales y en mezclas abiertas, donde se debe garantizar que el material o agregado mineral sea provisto de una película de ligante suficientemente alta en su superficie. La viscosidad es medida en Segundos Saybolt Furol (SFS), según especificaciones y normas norteamericanas A.S.T.M. y A.A.S.H.O.

En una emulsión asfáltica la viscosidad es dependiente de ciertos factores tales como: la temperatura (a mayor temperatura menor viscosidad), el tamaño y granulometría de los glóbulos de asfalto (siendo más viscosa las emulsiones en que las partículas son de tamaño uniforme, a diferencia de las que poseen tamaños bien gradados); dureza del cemento asfáltico de origen (cementos más duros dan como resultados emulsiones menos viscosas que las procedentes de cementos asfálticos más blandos); características del molino utilizando en la dispersión del asfalto en agua; contenido del cemento asfáltico (entre porcentajes de 65% y 70% la viscosidad crece muy rápidamente); naturaleza y cantidad de emulsificante en la emulsión; contenido de fluidificantes en el asfalto base (al agregarle una pequeña cantidad de fluidificantes en asfaltos duros permite disminuir la viscosidad en la emulsión).

#### **2.2.5.8.1.2 Adhesividad**

La adhesividad que presenta una emulsión asfáltica frente a un agregado o la capacidad de envolver al mismo y mantenerse, está ligada a una serie de elementos relacionados con la naturaleza y características del agregado; y de la emulsión utilizada, como consecuencia esta propiedad es muy compleja de ser estimada.

Los factores relacionados con la emulsión que pueda influenciar en la adhesividad alcanzada entre el agregado y la emulsión son: la naturaleza y cantidad del emulsificante en la emulsión, tipo de asfalto de base utilizado y pH de la emulsión (valores de pH próximos a 7 proporcionan mejores adhesividades pero menores estabilidades de la emulsión, mientras que valores alejados de 7 proporcionan emulsiones más estables pero adhesividades menores).

Las emulsiones catiónicas poseen mayor y mejor capacidad de adherencia que las emulsiones aniónicas frente a la gran mayoría de los agregados minerales. En las primeras prevalece la reacción físico-química en contacto con la mayor parte de los agregados, aún con los de mayor predominio calcáreo, variando en todo caso la velocidad del proceso de un agregado a otro; será más rápido para un árido silíceo que para uno calcáreo. En las emulsiones aniónicas el proceso principal consiste en la evaporación del agua, por lo tanto son más dependientes de las condiciones atmosféricas, exhiben una rotura de notable lentitud y baja adherencia. Las emulsiones presentan una muy buena adhesividad activa (al momento de mezclarse con el agregado), consecuencia lógica de su fluidez y facilidad de mojar los agregados, al mismo tiempo que una buena adhesividad pasiva (capacidad de mantener la unión asfalto - agregado, sin peligro de desplazamiento del ligante, incluso en presencia de agua y tráfico) principalmente en las emulsiones catiónicas, por la presencia de compuesto tensoactivos en su formulación.

#### **2.2.5.8.1.3 Cohesividad**

La cohesividad en emulsiones asfálticas es la fuerza aglutinante propia de la mezcla para pavimentación. Una definición explica el concepto de la cohesividad: “Es la resistencia a la rotura en masa de un ligante. En el caso de las

emulsiones es inicialmente baja, pero va aumentando a medida que se va eliminando el agua, de modo que al cabo de un tiempo más o menos breve llega a alcanzar la del asfalto base”.

Al colocar la emulsión en contacto con los agregados pétreos se comienza a separar la fase dispersada de su medio continuo; el agua se evapora y se acercan los glóbulos de asfalto cuando vencen la fuerza de rechazo electrostática existente inicialmente entre ellos por la presencia del emulsificante, produciendo un verdadero cemento entre la película residual de asfalto y el agregado, dando como resultado aumento de cohesión, que es muy similar a la del asfalto base.

#### **2.2.5.8.2 Propiedades Mecánicas que condicionan el comportamiento de las emulsiones**

Al mismo tiempo de las características químicas que deben cumplir las emulsiones asfálticas, existen un segundo grupo de características mecánicas que condicionan su comportamiento y ofrecen una manera de clasificación; las cuales son las siguientes:

##### **2.2.5.8.2.1 Estabilidad en el almacenamiento**

Finalizada la fabricación de una emulsión esta debe conservar sus propiedades y características de formulación. Esta estabilidad se asegura por la repulsión electrostática de los glóbulos de asfalto y está íntimamente ligada con el pH de la fase acuosa y con la finura de la dispersión (tamaño de los glóbulos). Se controlará las siguientes precauciones para evitar el cambio de las propiedades originales.

##### **2.2.5.8.2.2 Espumas**

Para evitar la formación de espumas en emulsiones asfálticas donde el emulsificante es capaz de formarlas, se recomienda no agitar violentamente ni verterla en cascada. Por lo tanto el llenado de depósitos debe hacerse prolongando la tubería hasta unos 20 cm del fondo del tanque. El transporte

debe hacerse en cisternas con rompeolas que dividan su interior.

#### **2.2.5.8.2.3 Natas**

La nata es una película endurecida que se forma en la superficie en contacto con el aire, protegiendo el resto de la emulsión. Para mantenerla es aconsejable el almacenamiento en depósitos cilíndricos, de eje vertical alimentados desde el fondo, ya que si se rompe trae consecuencias negativas en el flujo de la emulsión asfáltica al formarse grumos indeseables que obstruyen las bombas de alimentación y los difusores de riego.

#### **2.2.5.8.2.4 Sedimentos**

Los sedimentos aparecen cuando los glóbulos de asfalto descienden hasta al fondo y se depositan aumentando la viscosidad en las zonas inferiores del depósito, siendo reversible mientras no se produzca la rotura de la emulsión. Para contrarrestar este fenómeno se recomienda: Utilizar agentes estabilizantes, aumentar la concentración del emulsificante o lograr una mayor finura de dispersión.

#### **2.2.5.8.2.5 Mezcla entre emulsiones**

No se debe mezclar emulsiones aniónicas con catiónicas, ya que tienden a coagular (romper) por una reacción electroquímica. Si se trata de diluir las emulsiones, deberá tenerse en cuenta que el agua de dilución sea básica para la aniónica o ácida para las catiónicas. Es muy importante la limpieza de los tanques de almacenamiento cuando han contenido emulsiones de distinto tipo.

#### **2.2.5.8.2.6 Aditivos**

El uso de aditivos se justifica cuando las emulsiones no han reaccionado con un determinado árido, pero deber hacerse con cautela y conocimiento de los aditivos utilizados (naturaleza y propiedades), ya que estos procedimientos pueden traer consecuencias negativas, al provocar la rotura prematura de

la emulsión por la incompatibilidad del activante con el emulsificante.

#### **2.2.5.8.2.7 Temperatura**

Con temperaturas entre 10 °C y 85 °C se considera que las emulsiones asfálticas son estables y mantienen todas sus propiedades. Temperaturas menores de 10 °C endurecen excesivamente las emulsiones, aumentando la viscosidad del asfalto residual y por ende su densidad, favoreciendo la sedimentación.

Un aumento de la temperatura incrementa la energía cinética de las moléculas del emulsificante, por lo que fácilmente abandonan los glóbulos de asfalto, disminuyendo la estabilidad de la emulsión. Además de producirse la evaporación del agua se forman natas en la superficie del líquido, las cuales obstruyen las bombas y los difusores de riego.

#### **2.2.5.8.2.8 Estabilidad de la emulsión ante los agregados**

La estabilidad de la emulsión ante los agregados está relacionada con la forma de rotura al entrar en contacto con los materiales pétreos con los que se mezcle, depende tanto del tipo de emulsión como del tipo de agregado. La emulsión más estable son llamadas de rotura lenta y se caracterizan por poderse mezclar con un filler sin romper. Para definir esta propiedad, se utiliza el ensayo de mezclas con cemento para emulsiones aniónicas y mezclas con un filler-silíceo en las catiónicas.

#### **2.2.5.8.2.9 Características del residuo asfáltico**

Las características y propiedades del cemento asfáltico condicionan el comportamiento de las emulsiones asfálticas como ligante en la construcción de pavimentos. La viscosidad, la presencia de fluidificantes (en exceso retrasa la cohesión final) y la dureza del asfalto residual pueden considerarse como las de mayor importancia.

### **2.2.5.9 CONTROL DEL CALIDAD**

Las características propias de cada emulsión están dadas por el tipo de asfalto utilizado y el método de fabricación empleado, por este motivo el fabricante debe garantizar su producto, sin embargo se describe los principales ensayos que se realizan en las emulsiones asfálticas.

Las emulsiones asfálticas se elaboran en caliente, pues el asfalto para llevarlo a una forma fluida necesita altas temperaturas, algunas emulsiones son almacenadas en caliente, y algunas son transportadas y aplicadas en caliente. Las muestras en caliente recogidas en campo son a menudo enviadas al laboratorio a temperatura ambiente. Las muestras de emulsiones asfálticas con requisitos de viscosidad a 50°C deben ser calentadas hasta alcanzar una temperatura de  $50 \pm 3$  °C en un baño de agua a 70°C o en una estufa. Las muestras deben ser removidas, no agitadas, para asegurar homogeneidad.

#### **2.2.5.9.1 Control de Calidad en la Fabricación**

##### **a. Determinación del Potencial de Hidrógeno, ASTM D244.**

El pH es una medida del grado de acidez y alcalinidad de la sustancia analizada; su valor oscila entre 0 y 14. Las sustancias ácidas poseen un pH menor de 7 y las bases o alcalinas un pH mayor de 7, siendo neutras para un valor igual a 7.

Una misma emulsión se comporta de forma diferente según tenga un pH de 4,5 ó de 2,0. La primera tendrá una buena adhesividad, pero su rompimiento será muy rápido; la segunda tendrá una adhesividad dentro de los límites aceptables pero su rompimiento será mucho más lento.

**b. Residuo por Destilación según designación  
ASTM D244-92**

Esta prueba tiene por objeto determinar las proporciones de agua y residuo asfáltico que contiene la emulsión.

Se puede realizar ensayos con el residuo asfáltico de la emulsión, por ejemplo: penetración, ductilidad, punto de inflamación y punto de ablandamiento.

El objetivo es determinar las proporciones de agua y residuo asfáltico que contiene la emulsión.

El residuo de la emulsión puede utilizarse para efectuar las pruebas de penetración, ductilidad y solubilidad en tetracloruro de carbono, además de determinar el grado en que ha sido rebajado el cemento asfáltico, si es el caso.

**c. Residuo por Evaporación ASTM D244**

El objeto de esta prueba es determinar el residuo de las emulsiones asfálticas en porcentaje (%), por medio de evaporación rápida.

Según estadísticas, se dice que el residuo así obtenido da resultados de penetración y ductilidad inferiores a los que se logran en el residuo por destilación.

Por su fácil ejecución y rapidez en la misma, es el más utilizado para conocer la concentración de la emulsión y realizar cálculos de dosificación en campo.

**d. Residuo por Evaporación modificado ASTM D244**

Este ensayo permite controlar la producción de un molino que produce más de 20 toneladas por hora, siendo necesario conocer inmediatamente los rangos del residuo.

**e. Asentamiento o Sedimentación ASTM D244-29/32.**

La prueba de sedimentación o asentamiento, nos indica el grado de estabilidad que tienen las emulsiones durante su almacenamiento. Detecta la tendencia de los glóbulos de asfalto a sedimentarse durante el almacenamiento. También sirve como indicador de la calidad de la emulsión.

La prueba tiene una duración de cinco días, siendo necesario en obras de gran movilidad realizarla la prueba de estabilidad de almacenamiento, que tiene una duración de 24 horas.

Cuando la densidad del asfalto es ligeramente menor que la del agua, debido a solventes adicionales, por diferencia de densidades los glóbulos de asfalto tienden a flotar, presentándose en algunos casos una migración de los mismos hacia la superficie del líquido.

**f. Sedimentación en 24 horas. ASTM D244**

Esta prueba es una variante a la anterior, y aparece en sustitución de la prueba de sedimentación a 5 días. El procedimiento de la prueba es el mismo, lo único que varía es que la muestra es ensayada en 24 horas y el parámetro de la especificación es diferente.

#### **g. Sedimentación en caso de nuevas formulaciones**

Si la cantidad de emulsión generada en cada experimento es pequeña, menor al volumen al especificado en la norma (500 ml), se puede llevar a cabo una prueba de sedimentación colocando una muestra de la emulsión en cilindros graduados.

Cada muestra se coloca en un tubo de ensayo de 50 ml, se tapa para evitar evaporación, se rotula y se toman los datos de volumen de emulsión y la fecha y hora de inicio. A un tiempo determinado, se toma la lectura donde se observa la interfase agua-emulsión. Finalmente, se grafican los datos de altura vs tiempo Retenido en la malla #20.

#### **h. ASTM D 244-38/41**

Esta prueba sirve como complemento a la prueba de sedimentación y tiene como propósito determinar cuantitativamente la cantidad de glóbulos de asfalto que pueden no haberse detectado en la prueba de sedimentación y que podría obstruir el equipo de rociado, así como el espesor y la uniformidad de la película de asfalto sobre el agregado.

#### **i. Carga eléctrica. ASTM D-244.**

La prueba de carga eléctrica se realiza para identificar las emulsiones catiónicas o aniónicas a través de su corriente eléctrica.

Se lleva a cabo mediante la inmersión de dos electrodos, uno negativo (cátodo) y otro positivo (ánodo) en una muestra de emulsión, conectado a una fuente controlada de corriente continua. Al final de un

período de tiempo especificado, se observan los electrodos para determinar si el cátodo presenta una capa visible de asfalto depositado sobre él, si esto es así, la emulsión se clasifica como catiónica.

#### **2.2.5.9.2 Control de calidad en la aplicación**

##### **a. Viscosidad SAYBOLT-FUROL. ASTM D244-D88.**

La viscosidad se define como la resistencia al flujo de un líquido.

En el caso de las emulsiones, la prueba se define como una medida de la consistencia de la misma y por lo tanto da una idea de sus posibilidades de aplicación y comportamiento en un caso determinado.

Los resultados se reportan en segundos. Por conveniencia y precisión de ensayo, se emplean dos temperaturas de prueba, que cubre el intervalo normal de trabajo: 25°C y 50 °C.

##### **b. Miscibilidad de las emulsiones con Cemento Portland ASTM D 244**

La prueba se aplica a las emulsiones aniónicas y en algunos casos especiales a las catiónicas con la finalidad de conocer la estabilidad de la emulsión al mezclarse con un material tan fino como el cemento.

El ensayo consiste en medir el porcentaje de grumos que se obtienen cuando la emulsión pierde estabilidad al mezclarse con el cemento. Por consiguiente, el valor (% con respecto a la cantidad de emulsión de prueba, 100 g) es un indicativo del elevado grado de estabilidad química de algunas emulsiones de rotura lenta. Muy pocos emulsificantes

son capaces de generar emulsiones que pasen este duro ensayo.

**c. Miscibilidad con agua ASTM D 244**

Esta prueba tiene como finalidad investigar si las emulsiones de rotura media o lenta pueden mezclarse con el agua.

No es aplicable a emulsiones de rotura rápida. Después de adicionarle agua a la emulsión se procede a agitar la mezcla, se deja la muestra en reposo durante dos horas, luego de ese período de tiempo se examina visualmente para determinar una posible coagulación de los glóbulos de asfalto en la muestra.

Esta prueba es una medida de calidad del producto, además indica si la emulsión es capaz de mezclarse con agua o ser diluida en ella. A menudo se forma un depósito espeso de emulsión en el fondo del recipiente, si es pequeño, ello significará que la emulsión ha sido apropiadamente formulada y que las partículas en dispersión están en el intervalo del tamaño deseado.

**d. Ensayos de cubrimiento**

Para este ensayo, se mezclan las emulsiones con un material de prueba, de tipo silíceo de cierta granulometría. El material de prueba se subdivide en porciones; a cada muestra se le agrega cierta cantidad de agua de pre- envuelta para lograr las condiciones adecuadas de humedad que faciliten una mejor manipulación del mezclado de la emulsión con el agregado. Se añade una cantidad de emulsión determinada y se mezcla el conjunto manualmente en un recipiente, con ayuda de una paleta, hasta que se

observe que la emulsión ha sido repartida uniformemente en el material. El material cubierto se extiende en papel periódico por 24 horas, o hasta que se observe que el agua ha sido eliminada por completo. Finalmente, se prepara una briqueta, utilizando un equipo Hubbar Field, para determinar las características de adhesión del asfalto residual con el agregado. Luego de preparada la briqueta, se debe esperar 24 horas para proceder a su ruptura, y de esta manera determinar si su resistencia es la adecuada para el propósito requerido.

**e. Ensayo de rompimiento**

Este ensayo tiene por objeto determinar el tipo de rompimiento de una emulsión (lento, medio o rápido) según la cantidad de cemento que origina la ruptura. Se utiliza un equipo con agitación continua (150 rpm) provisto de un recipiente cilíndrico, con capacidad de 34 g de emulsión, y un agitador de tipo ancla. Se pesa el sistema (recipiente, agitador y emulsión) y luego se adiciona el cemento portland a razón de 0.2 a 0.3 g/s hasta rotura completa, la cantidad de cemento añadida se estima por diferencia de peso.

**2.2.5.10 USOS Y APLICACIONES DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS**

Las emulsiones asfálticas tienen gran aplicabilidad dentro de la industria de los materiales de construcción.

Entre los principales usos de las emulsiones asfálticas tenemos los siguientes:

Tratamientos de Superficie	Reciclado de Asfalto	Otras Aplicaciones
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Riego pulverizado</li> <li>2. Sellado con arena</li> <li>2. Lechadas</li> <li>3. Micro aglomerado</li> <li>4. "Cape seal"</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Frio in-situ</li> <li>2. Full Depth</li> <li>2. Caliente in-situ</li> <li>3. En planta central</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estabilización (suelo y Base)</li> <li>2. Riegos de Liga</li> <li>3. Bacheo de Mantenimiento</li> <li>4. Paliativos de Polvo</li> <li>4. Riegos de Imprimación</li> <li>5. Sellado de Fisuras</li> <li>6. Recubrimiento de Protección</li> </ol>

**Tabla 2-6 Principales usos de las emulsiones asfálticas Fuente: ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001)**

Estas se pueden usar para diversas aplicaciones dependiendo si contienen o no agregados<sup>2</sup>:

**Sin agregados**

- ✓ Riegos
- ✓ Tratamientos y sellado.

**Con agregados**

- ✓ Tratamientos superficiales.
- ✓ Tratamientos antifisuras.
- ✓ Lechadas o slurrys.
- ✓ Reciclados.
- ✓ Mezclas en frío

**2.2.5.10.1 USO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS SIN AGREGADOS.**

**a. Riego**

El riego consiste en la distribución, rociado uniforme de la emulsión asfáltica de manera tal que el mismo sea uniforme. Estos riegos no requieren la utilización de agregados. La forma más común de

<sup>2</sup> MERCADO, R., BRACHO, C., & AVENDAÑO, J. (2008). Emulsiones Asfálticas, Usos-Rompimientos. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.

efectuar el riego de la emulsión asfáltica es utilizando un camión regador.

**b. Riego de liga**

Es la aplicación de la emulsión asfáltica sobre un pavimento ya existente y se utiliza para obtener una buena adherencia con la nueva capa asfáltica a construir.

La emulsión comúnmente usada para este trabajo es la emulsión de tipo catiónico de ruptura rápida. En algunos casos se utilizan emulsiones medias. El objetivo es lograr una capa fina y uniforme de emulsión la cual liberará el asfalto luego de romper.

**c. Riego de Curado**

Este riego se aplica sobre un agregado estabilizado con cemento o cal para evitar una evaporación excesiva y con esto facilitar el fraguado. Las normas internacionales recomiendan la utilización de emulsiones de corte rápida para esta tarea. Este riego permite que el pavimento adquiera un color negro uniforme en toda su superficie, fijando cualquier material suelto (polvo) y sellando pequeñas fisuras.

**d. Riego Antipolvo**

Se realiza en caminos de tierra para fijar el material suelto de su superficie. El objetivo final es obtener una película delgada de asfalto a partir de riegos sucesivos efectuados con una emulsión muy

diluida. En caminos de tierra, un automóvil produce 560 toneladas de polvo por Km. al año.

**e. Tratamientos y sellado**

En este caso, la emulsión se aplica sobre superficie de pavimentos envejecidos con el objeto de rejuvenecerla sellando pequeñas grietas y poros superficiales, o bien producir un puente de adherencia con una nueva carpeta asfáltica que la cubrirá. También puede ser utilizada para sellar (impermeabilizar) la superficie de una carpeta nueva o de un tratamiento superficial de reciente confección.

**f. USO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS CON AGREGADOS.**

**- Tratamientos superficiales.**

El tratamiento superficial simple consiste en la aplicación de la emulsión sobre una superficie cualquiera de un camino, seguida de una capa de agregado pétreo de un tamaño aproximadamente uniforme. Se pueden hacer dos o tres aplicaciones sucesivas y alternadas de emulsión asfáltica y de agregado pétreo (tratamiento bicapa y tricapa). Los áridos a emplear en tratamientos superficiales son procedentes de trituración de piedra caliza o grava natural.

**- Tratamientos antifisuras.**

Las fisuras pueden clasificarse por la forma de agruparse, por sus características geométricas y por su origen. Su tratamiento puede hacerse mediante una emulsión asfáltica, esto retarda el nuevo inicio

de las fisuras, aunque luego dependerá de la capa de aglomerado que pongamos sobre esta. Las lechadas asfálticas clásicas con emulsiones asfálticas se pueden modificar con la incorporación de fibras para poder incorporar una mayor cantidad del ligante.

En la actualidad se ha desarrollado un geotextil impregnado que sirve como elemento de retención absorbiendo una cantidad de ligante, mientras que el asfalto asegura la estanqueidad, facilita la unión entre las capas y disipa los movimientos horizontales entre los bordes de la fisura. Se utilizan emulsiones catiónicas modificadas.

- **Lechadas o Slurrys.**

Las lechadas asfálticas y los micropavimentos (microsurfacing) son técnicas modernas de tratamientos superficiales. Ambas se pueden usar para procedimientos preventivos o correctivos de la superficie del pavimento. Para aplicarlas comúnmente se utilizan equipos autopropulsados en los cuales se realiza la mezcla de los componentes y su extendido aunque se pueden utilizar mezcladores comunes y extenderlas manualmente.

Las lechadas asfálticas son la combinación de un agregado denso con emulsión asfáltica, agua, filler mineral y aditivos (si son necesarios) la cual es aplicada en una fina capa para recubrir y proteger el pavimento. Esta técnica se puede realizar sobre pavimentos nuevos o ya existentes, sobre asfalto o concretos, así como también sobre bases estabilizadas (por ejemplo suelo-arena emulsión).

El principio de esta técnica consiste en obtener, por la combinación de todos los componentes, una mezcla con la consistencia de una lechada la cual es esparcida sobre el pavimento. Tan pronto como se realiza la mezcla un proceso químico comienza para culminar con el rompimiento de la emulsión y la cohesión de la mezcla.

- **Reciclados.**

El reciclado en frío puede ser realizado mediante emulsiones asfálticas en planta o insitu.

En planta, el reciclado se logra mediante el transporte del material recuperado de un pavimento existente a un depósito central, donde el material se trabaja con una unidad de procesamiento (como un mezclador continuo). In-situ, el reciclado se logra utilizando una máquina recicladora móvil.

Diferentes surfactantes y aditivos son utilizados para variar las dosificaciones de manera de ajustar una emulsión a una aplicación específica. Dado que el tipo de material que se mezcla con la emulsión tiene una gran influencia en la estabilidad (tiempo de quiebre), es importante que al fabricante de la emulsión le sea entregada una muestra representativa del material que debe ser reciclado. Cualquier tipo de filler activo que se debe añadir en conjunto con la emulsión asfáltica debe ser también suministrado para permitir desarrollar y ensayar la formulación correcta de la emulsión.

Las emulsiones asfálticas son susceptibles a la temperatura y presión. Las condiciones que van a hacer que el asfalto se separe de la suspensión (lentamente como “floculación”, o instantáneamente como “quiebre instantáneo”) deben ser claramente entendidas para evitar de que esto ocurra en terreno. De igual manera, el fabricante debe conocer las condiciones predominantes en terreno para permitir una formulación correcta, incluyendo los detalles de todas las bombas que serán utilizadas para transferir la emulsión entre los estanques y para suministrar la barra con aspersores en la recicladora.

- **Mezclas asfálticas.**

Es la combinación de un árido con un ligante asfáltico, que en una película continua, envuelve todas y cada una de las partículas minerales del árido. Esta mezcla se utiliza en la construcción de pavimentos flexibles de alta calidad, ya sea como bases asfálticas o como carpetas de rodamiento.

- **Mezclas asfálticas en frío**

Las mezclas asfálticas en frío se subdividen en dos grupos según el proceso utilizado para fluidificar el asfalto base:

- ✓ Mezclas en frío con asfaltos rebajados
- ✓ Mezclas en frío con emulsiones asfálticas

Las mezclas en frío con asfaltos rebajados, son la combinación árido-asfalto que utilizan como ligante un cemento asfáltico rebajado, también conocido como asfalto líquido. Este asfalto se obtiene mediante la adición de asfalto base, de

solventes de su misma naturaleza (kerosén, nafta, gasoil).

Las mezclas en frío con emulsiones asfálticas son mezclas árido-asfalto que utilizan como ligante el mismo cemento asfáltico empleado en las mezclas en caliente y en frío con asfalto rebajados, con la diferencia de que éste se encuentra emulsionado en un fase acuosa.

La siguiente tabla muestra los usos generales de tipos y grados normalizados de emulsión asfáltica.

### Usos Generales de las Emulsiones Asfálticas

Tipo de	ASTM D977						ASTM D2397						
	AASHTO M208						AASHTO M 140						
<b>Mezclas de Asfalto y Agrados:</b>													
Mezcla en Planta (Caliente)						X <sup>A</sup>							
Mezcla en Planta (en Frío)													
Granulometría Abierta					X	X					X	X	
Granulometría Cerrada							X	X	X			X	X
Arena							X	X	X			X	X
Mezclado In-situ													
Granulometría Abierta					X	X					X	X	
Agregado bien Graduado							X	X	X			X	X
Arena							X	X	X			X	X
Suelo Arenoso							X	X	X			X	X
<b>Aplicaciones de Asfalto y Agregado</b>													
Tratamientos Superficiales (Simples y Mult)	X	X	X							X	X		
Sellado con Arena (SandSeal)	X	X	X	X						X	X		
Lechada Asfáltica (SlurrySeal)							X	X	X			X	X
Micro-aglomerado (Micro-Surfacing)													X <sup>C</sup>
Sellado Doble (SandwichSeal)		X	X							X			
Cape Seal		X								X			
<b>Aplicaciones Asfálticas</b>													
Riego Pulverizado (FogSeal)				X <sup>B</sup>			X <sup>C</sup>	X <sup>D</sup>				X <sup>D</sup>	X <sup>C</sup>
Imprimación (Prime Coat)					X <sup>D</sup>		X <sup>D</sup>	X <sup>D</sup>				X <sup>D</sup>	X <sup>D</sup>
Riego de Liga (TackCoat)				X <sup>B</sup>			X <sup>C</sup>	X <sup>C</sup>				X <sup>C</sup>	X <sup>C</sup>
Paliativo de Polvo (Dust Paliativo)							X <sup>C</sup>	X <sup>C</sup>				X <sup>C</sup>	X <sup>C</sup>
Protección con Asfalto (Mulchtratemen t)							X <sup>C</sup>	X <sup>C</sup>				X <sup>C</sup>	X <sup>C</sup>
Sellado de Fisuras (Crack filler)							X	X				X	X
<b>Mezclas de Mantenimiento</b>													
Uso inmediato							X				X	X	
Acopio							X						
<sup>A</sup> Pueden emplearse otras grados que el HFMS - 2h cuando la experiencia demuestre que han tenido un comportamiento satisfactorio. <sup>B</sup> Diluido en agua por el fabricante <sup>C</sup> Diluid o con agua <sup>D</sup> Mezclado solo para imprimación <sup>E</sup> el polímero debe incorporarse durante o previamente a la emulsificación													

**Tabla 2-7 Usos Generales de las Emulsiones Asfálticas Fuente: ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001)**

### **2.2.5.11 SELECCIÓN DEL TIPO Y GRADO DE EMULSIÓN A UTILIZAR**

Los siguientes lineamientos son una guía para seleccionar el tipo y grado de emulsión a utilizar. La primera consideración al elegir el tipo y grado correctos es qué aplicación se dará a la emulsión.

Algunos otros factores que afectan la elección de la emulsión son:

- Las condiciones climáticas previstas para la etapa constructiva.
- Tipo de agregado, granulometría y disponibilidad
- Disponibilidad de los equipos
- Ubicación geográfica.
- Control de tráfico.
- Consideraciones ambientales.

No hay nada que reemplace a la evaluación en laboratorio de la emulsión y del agregado a ser empleados. Un técnico experimentado puede determinar el tipo y cantidad de emulsión a utilizar. Cada grado de emulsión asfáltica ha sido diseñada para usos específicos. Aquí son descritos en forma general.

#### **2.2.5.11.1 Emulsiones de Rotura Rápida (Rapid-Setting)**

Los grados de rotura rápida se han diseñado para reaccionar rápidamente con el agregado y revertir de la condición de emulsión a la de asfalto. Se usan principalmente para aplicaciones de riego, como tratamientos superficiales, sellados con arena y tratamientos de superficie. Los grados RS-2, HFRS-2 y CRS-2 (de rotura rápida) son de alta viscosidad para evitar el escurrimiento. Versiones de esas emulsiones modificadas con polímeros son usadas rutinariamente cuando se requiere una rápida adhesión, como el caso de áreas de intenso tráfico, cuando el control de tráfico es mínimo o cuando hay cargas pesadas.

#### **2.2.5.11.2 Emulsiones de Rotura Media (Medium-Setting)**

Las emulsiones de rotura media se diseñan para ser mezcladas con agregados graduados. Debido a que estos grados de emulsiones se formulan para no romper inmediatamente después del contacto con el agregado, ellos pueden utilizarse para recubrir una amplia variedad de agregados graduados. Ejemplos de emulsiones de rotura media son MS-2, CMS 2 y HFMS-2. La nomenclatura de las emulsiones de rotura media varía de estado a estado. Se sugiere consultar con el productor local de emulsiones, el que puede dar recomendaciones al respecto. La emulsión de alta flotación es una clase especial de emulsión aniónica de rotura media.

La principal diferencia entre ésta y las emulsiones convencionales de rotura media es la existencia de una estructura de gel en el residuo asfáltico, esta estructura es medida en el ensayo de flotación. La característica de flotabilidad aumenta el espesor de la película. Consecuentemente, los residuos asfálticos de alta flotación son menos susceptibles a cambios de temperatura y muy resistentes a fluir a altas temperaturas durante el verano.

Versiónes modificadas con polímeros de las emulsiones de rotura media pueden emplearse cuando se requieren estabilidad adicional, mayor durabilidad o cuando es importante una mayor resistencia a la humedad.

#### **2.2.5.11.3 Emulsiones de Rotura Lenta.**

Los grados de rotura lenta se diseñan para lograr mezclas estables. Se emplean con granulometrías cerradas, con alto porcentaje de finos. A los grados de rotura lenta corresponden prolongados periodos de trabajabilidad para asegurar una buena mezcla con agregados de granulometría cerrada. Estas mezclas no se diseñan para ser acopiadas.

Todos los grados de rotura lenta tienen baja viscosidad, que puede ser aún más reducida con la incorporación de agua. *Diluidos*, estos grados pueden también ser usados para riegos de liga, riegos pulverizados y como paliativos de polvo. La coalescencia de las partículas de asfalto de las emulsiones de rotura lenta depende básicamente de la evaporación del agua. Las emulsiones de rotura lenta en aplicaciones de mezcla son empleadas en general para bases de granulometría cerrada, estabilización de suelos, carpetas asfálticas, algunos reciclados y sellados con lechadas asfálticas.

Las emulsiones de rotura lenta modificadas con polímeros, pueden ser utilizadas cuando se requieren una estabilidad adicional de la mezcla o una mayor ligazón, esto último en el caso de riegos de liga o riego pulverizado.

#### **2.2.5.11.4 Emulsiones de Rotura Rápida QS y para Micro-aglomerados**

Los grados QS se utilizan específicamente para aplicaciones de lechadas asfálticas en las que se necesita un rápido tiempo de curado. Esto permite una más rápida liberación al tránsito que en el caso de emulsiones de rotura lenta para lechadas asfálticas. Las lechadas asfálticas con emulsiones de rotura lenta se diseñan para ser colocadas en un espesor igual al del agregado de máximo tamaño. Las emulsiones para micro-aglomerados están modificadas con polímeros y permiten colocar mezclas en espesores mayores que los de las lechadas asfálticas. Un pavimento de micro-aglomerado puede ser normalmente abierto al tránsito antes de que se cumpla una hora de colocado.

#### **2.2.5.12 TIPOS DE MEZCLAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS**

Hay tres tipos de mezclas de emulsión asfáltica y agregados: de granulometría cerrada, con arena y de granulometría abierta<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001). Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS N° 19S. Lexington. Página 64

(ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001)

Las mezclas de granulometría cerrada están compuestas de agregados graduados desde el máximo tamaño hasta, inclusive, material pasante el tamiz 75 mm (N° 200).

Las mezclas arena emulsión se elaboran tratando, con emulsiones asfálticas, arenas de río, arenas de dunas, arena y gravas pobremente graduadas. Las mezclas con arenas están generalmente limitadas a arenas finas limpias y arenas limosas con bajo contenido de arcilla. Elaboradas con los adecuados grados de emulsiones, las mezclas con arenas han tenido un buen comportamiento como Sub-bases y bases. Para estas mezclas las emulsiones típicamente empleadas son de rotura lenta y de rotura media de alta flotación, preferentemente con grados de mayor dureza o "h".

Con granulometrías abiertas elaboramos mezclas de alto porcentaje de vacíos, a través de los cuales drena el agua. Estas mezclas han sido utilizadas muy exitosamente tanto para bases como para carpetas de rodamiento. Debido a la relativa sencillez del equipo de planta necesario y a los altos volúmenes de producción posible, estas mezclas son económicamente atractivas cuando se requiere una mezcla de alta calidad para tráfico pesado. En algunos casos, la performance a largo plazo de mezclas abiertas ha sido comparable con la de mezclas asfálticas en caliente.

#### **2.2.5.13 USOS PRINCIPALES DE MEZCLAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS**

El Transportation Research Board (TRB) define estabilización como "la modificación de suelos o agregados mediante la incorporación de materiales, incrementando la capacidad portante, la firmeza y la resistencia al desplazamiento por la acción del clima". La estabilización con emulsión asfáltica es muy adaptable a la construcción por etapas, en la que nuevas

trochas o capas se agregan a medida que el tráfico aumenta. Debido a sus propiedades cementantes e impermeabilizantes, la emulsión asfáltica puede ser excelente para estabilizaciones.

Los progresos en la tecnología de emulsiones asfálticas hacen posible el empleo de mezclas con emulsiones con una amplia variedad de aplicaciones en construcción, rehabilitación y mantenimiento de pavimentos. La siguiente tabla enumera los principales usos de las mezclas de emulsiones asfálticas.

<b>Usos Principales de Mezclas con Emulsiones Asfálticas</b>	
<b>Uso de la Mezcla</b>	<b>Propósito del Tratamiento con Emulsión</b>
Como una ayuda constructiva	Facilitar la construcción del pavimento y en algunos casos proveer una plataforma de trabajo
Mejoramiento del comportamiento de agregados marginales	Mejorar el agregado, alcanzando la calidad de una buena base granular sin tratar
Como una superficie de rodamiento temporaria	Proveer una superficie que puede ser utilizada hasta que se coloca, con carácter de pavimento permanente una mezcla asfáltica en caliente o una mezcla con emulsión de alta calidad.
Reducir el espesor total del pavimento	Incrementar la resistencia de los materiales del pavimento y reducir el espesor necesario de la estructura con respecto al espesor correspondiente a materiales sin tratar.
Mezclas abiertas para carpetas y bases	Producir una mezcla de alta calidad para tráfico muy intenso. Estas mezclas tienen buena flexibilidad y resistencia a la deformación permanente.
Superficie de rodamiento de granulometría cerrada	Producir una mezcla para carpetas estables que no sufrirán ahuellamiento ni desplazamientos
Sub-base de pavimentos	Permitir el uso de agregados de menor calidad para la elaboración de sub-bases aceptables. Para esta aplicación, se pueden usar arenas, arenas limosas y arenas y gravas de pobre graduación,
Mezclas de mantenimiento de uso inmediato y para acopio	Proveer mezclas de bacheo trabajables que pueden ser diseñadas para uso inmediato o para almacenamiento a largo plazo.

**Tabla 2-8 Usos Principales de Mezclas con Emulsiones Asfálticas Fuente: ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001)**

#### **2.2.5.14 DISEÑO DE MEZCLAS ESTABILIZADAS**

En una mezcla asfáltica 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 dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla. Ellos son el método Marshall y el Método Hveem. En el presente estudio sólo trataremos el método Marshall.

Ambos métodos de diseño son ampliamente usados en el diseño de mezclas asfálticas de pavimentación. La selección y uso de cualquiera de estos métodos de diseño de mezclas es, principalmente, asuntos de gustos en ingeniería, debido a que cada método contiene características y ventajas singulares. Cualquier método puede ser usado con resultados satisfactorios.

##### **2.2.5.14.1 CARACTERÍSTICAS Y**

##### **COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA EN FRÍO.**

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia las características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las características son:

- ✓ Densidad de la mezcla
- ✓ Contenido de asfalto.

##### **a. Densidad**

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante

debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico. La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio.

#### **b. Contenido de Asfalto**

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios sugeridos por el método de diseño seleccionado.

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

Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte el contenido

de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido o relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente la empeorará.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie 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.

### **2.2.5.15 PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS EN FRÍO**

Las buenas mezclas asfálticas trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas asfálticas en frío. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.

#### **2.2.5.15.1 Estabilidad**

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamiento (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado.

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

En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

Cuando no hay agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar mezclas más económicas, en lugares donde se espere tráfico liviano, utilizando agregados con valores menores de fricción interna.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas. Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento.

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o exudación
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización

**Tabla 2-9 Causas y Efectos de Inestabilidad**

#### 2.2.5.15.2 Durabilidad

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y

oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos. Una graduación densa de agregado firme, duro, a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada.

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darla al pavimento al máximo impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento.

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de
Alto contenido de vacíos debido al agrietamiento o	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por diseño o a la falta de
Agregados susceptibles al agua (Hidrofilitos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando

**Tabla 2-10 Causas y Efectos de una Poca Durabilidad**

### 2.2.5.15.3 Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

CAUSAS	EFEKTOS
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación. Y
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y

**Tabla 2-11 Causas y Efectos de La Permeabilidad**

#### **2.2.5.15.4 Trabajabilidad**

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación 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. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

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. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades

considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad el 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.

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

**Tabla 2-12 Causas y Efectos de Problemas en la Trabajabilidad**

#### **2.2.5.15.5 Flexibilidad**

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la sub-rasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las sub-rasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

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

#### **2.2.5.15.6 Resistencia a la Fatiga**

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga. Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la sub-rasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre sub-rasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre sub-rasantes débiles.

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga

**Tabla 2-13 Causas y Efectos de una Mala Resistencia a La Fatiga**

#### 2.2.5.15.7 Resistencia al Deslizamiento

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo).

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados debe resistir el pulimento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento.

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidroplaneo
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

**Tabla 2-14 Causas y Efectos de Poca Resistencia al Deslizamiento**

#### **2.2.5.16 MÉTODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS**

El concepto del método Marshall en el diseño de mezclas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall, a la vez que desarrolló un criterio de diseño de mezclas.

El método original únicamente es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. El método Marshall es necesario modificarlo para emplearlo con mezclas en frío, como es el caso de las emulsiones asfálticas, está pensado para diseño en laboratorio y control en campo de mezclas. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de 64 mm (2 1/2") de alto y 102 mm (4") de diámetro. Los dos aspectos principales del método Marshall son la densidad - análisis de vacíos, y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados; cabe mencionar que este proceso de diseño no tiene especificado pruebas para agregados minerales ni para cementos asfálticos.

Este diseño de mezclas esta sugerido por (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001) para mezclas frías con emulsión asfáltica, de granulometría cerrada, con un tamaño máximo del agregado de 25 mm (1 pulgada) o menos y emulsiones de roturas media o lenta. Es aplicable a mezclas elaboradas en el camino o en planta, a temperatura ambiente, y de colocación inmediata o acopio.

Al existir una gran variedad de emulsiones, con poco conocimiento de las ventajas de uso de las mismas para ganar tiempo recomienda seguir las sugerencias que se han presentado como criterios generales para la selección de la emulsión asfáltica, pero sin olvidar que puede ser necesario y valioso el criterio personal que puede ser la experiencia de uso en otras aplicaciones similares. Para esta selección de tipo y grado de emulsión deben considerarse no sólo las características del agregado, sino también la del residuo de asfalto - base dura o blanda, contenido de solvente, modificación con polímeros y la velocidad de curado de la emulsión (rotura media o lenta).

La carencia de un método universalmente aceptado para el diseño de mezclas en frío de emulsión asfáltica y agregados, sean aquellas de granulometría cerrada o de granulometría abierta ha permitido gran cantidad de variaciones basadas en métodos empíricos, sin comprobarse cuál es el mejor método de diseño, basándose más en disponibilidad de equipo de diseño, experiencia y conocimiento . Sin embargo, casi todos los métodos para mezclas cerradas son modificaciones del método de ensayo de Hveem (ASTM D 1560 y 1561 ó AASHTO T 246 y 247) o del método de ensayo Marshall (ASTM D 1559 ó AASHTO T 245).

Para las mezclas de agregado - emulsión es necesario un diseño. Es esencial preparar en el laboratorio mezclas de prueba para determinar el grado y porcentaje de emulsión y las propiedades de trabajabilidad, estabilidad y resistencia del sistema. Debería determinarse la susceptibilidad de la mezcla con emulsión al daño por agua.

De manera general para el diseño de este tipo de mezclas de agregado - emulsión se siguen los siguientes pasos:

- ✓ Estudio de los Agregados a utilizar
- ✓ Selección del tipo de Emulsión y grado de emulsión a utilizar
- ✓ Determinación del contenido tentativo de asfalto
- ✓ Determinación de la cantidad de agua ensayo de Recubrimiento y Adhesión
- ✓ Determinación del contenido óptimo de emulsión mediante el diseño Marshall modificado para emulsiones

### **2.3 HIPOTESIS**

Si, las bases granulares tratadas con emulsión asfáltica mejorarán la capacidad de soporte de un pavimento.

### **2.4 VARIABLES**

#### **2.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE**

Bases Estabilizadas con Emulsión Asfáltica

#### **2.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE**

Mejoran el comportamiento estructural de un pavimento.

### **2.5 DEFENICION DE TERMINOS**

#### **ABRASIÓN**

Desgaste mecánico de agregados y rocas resultante de la fricción y/o impacto.

#### **AFIRMADO**

Capa compactada de material granular natural o procesado con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en carreteras y trochas carrozables.

## **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO O MECÁNICO**

Procedimiento para determinar la granulometría de un material o la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños.

## **BASE**

Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una subbase o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento.

## **CARRETERA NO PAVIMENTADA**

Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado, suelos estabilizados o terreno natural.

## **CBR (California Bearing Ratio)**

Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.

## **CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO:**

Es el contenido de humedad al cual un suelo o material granular al ser compactado utilizando un esfuerzo especificado proporciona una máxima densidad seca. El esfuerzo puede ser estándar o modificado.

## **CANTERA**

Deposito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras.

## **EMULSIÓN ASFÁLTICA**

Emulsión es una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. En el caso de la emulsión asfáltica es el asfalto, al agua y el emulsificante que consiste en una solución de consistencia jabonosa.

**ESTABILIDAD**

Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material.

**LÍMITE LÍQUIDO:**

Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el Líquido de un suelo.

**LÍMITE PLÁSTICO**

Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el Semi-sólido.

**MATERIALES GRANULARES:**

Los materiales granulares son fragmentos de roca producidos por acciones erosivas. Su tamaño y forma depende de: la calidad de la roca madre de donde se originaron, del grado de meteorización, y del desgaste que haya sufrido durante el transporte por lo general estos depósitos son de tipo aluvial.

## **CAPITULO III**

### **3. MARCO METODOLOGICO**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACION**

El tipo de investigación empleada es experimental ya que se aplicaron pruebas de laboratorio a fin de establecer la validez de las hipótesis planteadas en relación al mejoramiento de bases tratadas con emulsión asfálticas.

#### **3.2 POBLACION Y MUESTRA**

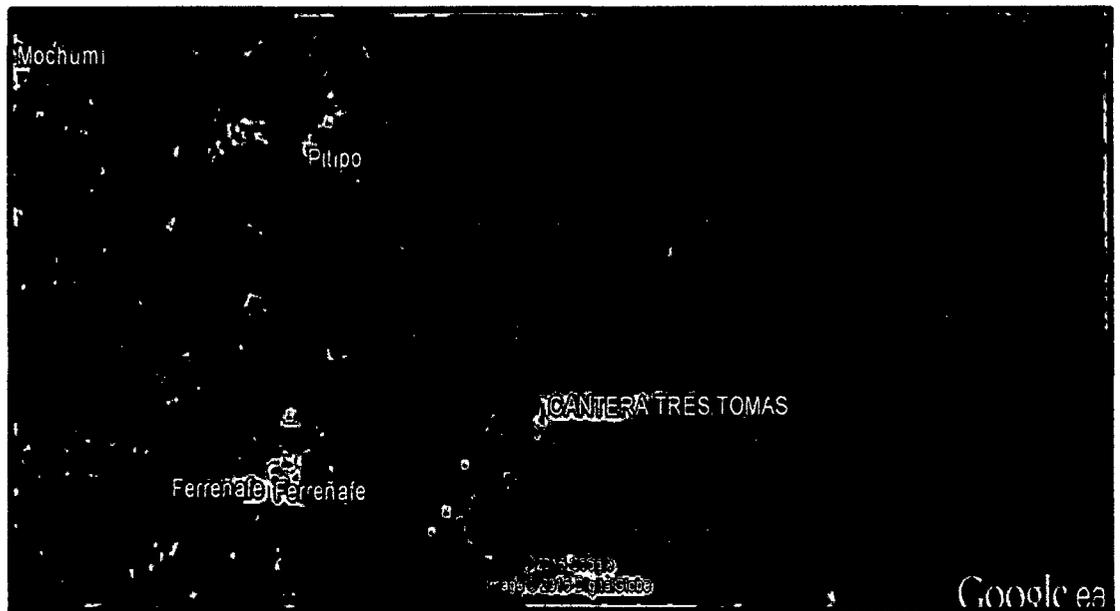
##### **3.2.1 TAMAÑO DE LA MUESTRA**

La población universo de esta investigación está constituida por 30 canteras de material granular en la región Lambayeque, en las cuales se pueden encontrar material granular para la aplicación de las respectivas pruebas de laboratorio. Ya que por el número de las canteras no es necesaria la aplicación de fórmula de muestreo se ha seleccionado tres canteras las cuales se encuentran ubicadas en la provincia de Ferreñafe, distrito de Mochumi y distrito de Morrope del departamento de Lambayeque. Se necesita establecer que el material existente en dichas canteras puede ser mejorado con la emulsión asfáltica y brindar óptimos resultados y gran estabilidad en pavimentos.

### **3.2.2 UBICACIÓN DE LAS CANTERAS DE MATERIALES GRANULARES**

Las cuatro canteras de donde se extrajo el material granular para el proyecto de investigación son:

#### **✓ CANTERA TRES TOMAS**

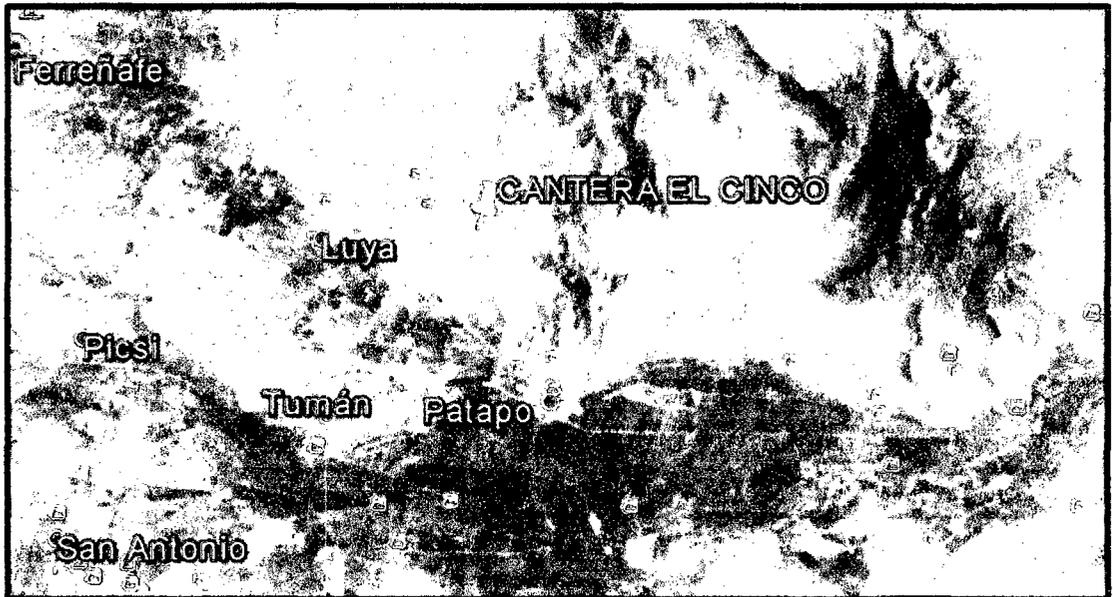


**Fotografía 3-1 Ubicación de la Cantera Tres Tomas (Google Earth 2015)**



**Fotografía 3-2 Extracción de la Muestra: Material Granular Cantera  
Tres Tomas**

✓ **CANTERA EL CINCO**



**Fotografía 3-3 Ubicación de la Cantera El Cinco (Google  
Earth 2015)**



**Fotografía 3-4 zarandeo del Material Granular Cantera El Cinco**



**Fotografía 3-5 Extracción de la Muestra: Material Granular Cantera el Cinco**

✓ **CANtera CACHINCHE**

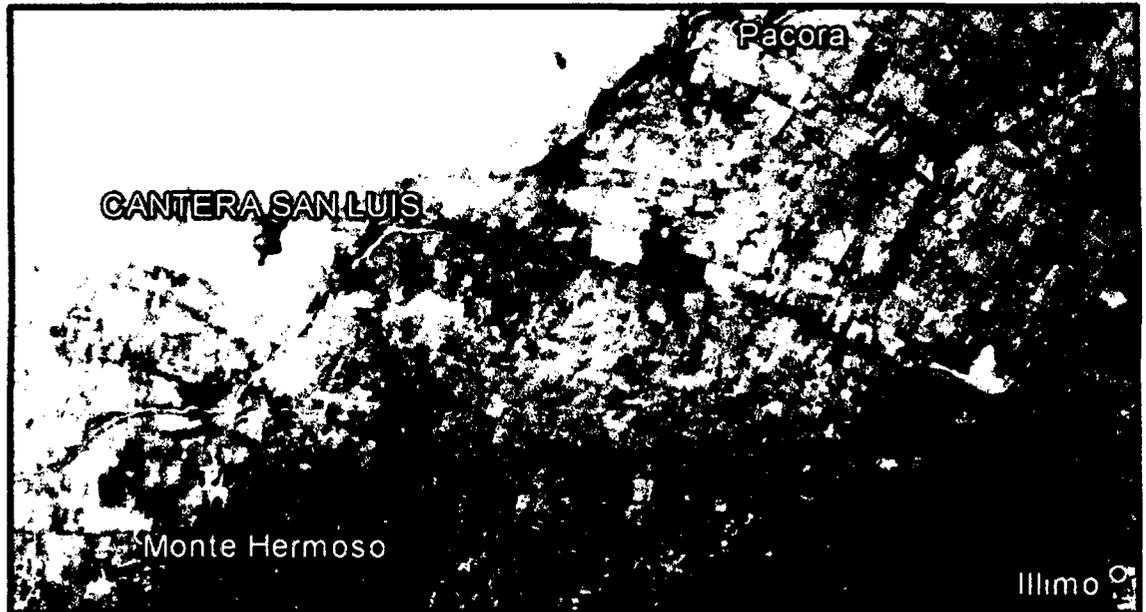


**Fotografía 3-5 Ubicación de la Cantera Cachinche (Google Earth 2015)**



**Fotografía 3-6 Extracción de la Muestra: Material Granular Cantera Cachinche**

✓ **CANTERA SAN LUIS**



**Fotografía 3-7 Ubicación de la Cantera San Luis (Google Earth 2015)**



**Fotografía 3-8 Extracción de la Muestra Material Granular Cantera San Luis**

### 3.3 TECNICAS Y FORMATOS DE RECOLECCION DE DATOS

Las principales técnicas de investigación empleadas en este proyecto son los ensayos de Laboratorio realizados en el Laboratorio Pavimentos, de la Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Civil de la UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO y la UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN, Facultad de Ingeniería Civil.

Estos ensayos fueron aplicados a las muestras tomadas de las canteras seleccionadas realizándose los siguientes ensayos:

- ✓ Métodos para la reducción de muestras de campo a tamaño de muestras de ensayo.
- ✓ Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo).
- ✓ Análisis Granulométrico por tamizado.
- ✓ Determinación del Limite Líquido.
- ✓ Determinación del Limite Plástico (L.P.) e Índice de Plasticidad (L.I.).
- ✓ Equivalente de Arena, Suelos y Agregados Finos.
- ✓ Método de Ensayo para Determinar el Contenido de Humedad de un suelo.
- ✓ Relaciones Humedad Densidad (Proctor Modificado).
- ✓ CBR de Suelos (laboratorio).
- ✓ Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2),
- ✓ Cubrimiento de los Agregados con Emulsiones Asfálticas.
- ✓ Resistencia de Mezclas Bituminosas empleando el aparato de Marshall.

### 3.4 METODOLOGIA DE LOS ENSAYOS Y NORMAS EMPLEADAS

<b>MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES PARA CARRETERAS (EM 2000)</b>	
<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>
Métodos para la reducción de muestras de campo a tamaño de muestras de ensayo	MTC E 103 – 2000, ASTM C 702.
Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo).	MTC E 105 – 2000, NTP 350.001, ASTM C 702- 93
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D 422, AASHTO T 88, MTC E 107 – 2000.
Determinación del Limite Liquido de los Suelos	MTC E 110 – 2000, ASTM D 4318, AASHTO T 89.
Determinación del Limite Plástico (L.P.) e Índice de Plasticidad (L.I.),	MTC E 111 – 2000, ASTM 4318, AASHTO T90.
Equivalente de Arena, Suelos y Agregados Finos,	MTC E 114 – 2000, ASTM 2419, AASHTO T 176.
Método de Ensayo para Determinar el Contenido de Humedad de un suelo	MTC E 108 – 2000, ASTM D 2216.
Relaciones Humedad Densidad (Proctor Modificado),	MTC E 115 – 2000, ASTM D 1557
CBR de Suelos (laboratorio),	MTC E 132 – 2000, ASTM D 1883, AASHTO T 193.
Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2),	MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96, ASTM C 535.
Cubrimiento de los Agregados con Emulsiones Asfálticas	MTC E 412 – 2000, ASTM D 244, AASHTO T 59
Resistencia de Mezclas Bituminosas empleando el aparato de Marshall	MTC E 504, ASTM D 1559, AASHTO T 245, NLT 159/86

- ✓ **Métodos para la reducción de muestras de campo a tamaño de muestras de ensayo (MTC E 103 – 2000, ASTM C 702).**- Establece tres métodos de preparación de muestras de campo a tamaños apropiados para ensayos

empleando procedimientos que minimizan la variación en la medición de las características entre la muestra de ensayo y la muestra de campo.

- ✓ **Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo) (MTC E 105 – 2000, NTP 350.001, ASTM C 702- 93).**- Es el procedimiento para la conservación de las muestras inmediatamente después de obtenidas en el terreno, así como para su transporte y manejo.
- ✓ **Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM D 422, AASHTO T 88, MTC E 107 – 2000).**- Se trata de la determinación cuantitativa de la distribución de tamaño de partículas de suelo, esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74mm (N° 200).
- ✓ **Determinación del Limite Líquido (MTC E 110 – 2000, ASTM D 4318, AASHTO T 89).**- El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido.
- ✓ **Determinación del Limite Plástico (L.P.) e Índice de Plasticidad (L.I.) (MTC E 111 – 2000, ASTM 4318, AASHTO T90).**- El objetivo de este ensayo es la determinación en el Laboratorio del límite plástico y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.), si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo, Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad mas baja con la que puede formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8”) de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.
- ✓ **Equivalente de Arena, Suelos y Agregados Finos, (MTC E 114 – 2000, ASTM 2419, AASHTO T 176).**- El objetivo es determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos
- ✓ **Método de Ensayo para Determinar el Contenido de Humedad de un suelo, (MTC E 108 – 2000, ASTM D 2216).** Este es un Ensayo rutinario de Laboratorio para determinar la cantidad dada de agua presente en una cantidad específica de suelo en términos de su peso en seco.

- ✓ **Relaciones Humedad Densidad (Proctor Modificado)( MTC E 115 – 2000, ASTM D 1557).**- Nos sirve para determinar la máxima densidad seca y obtener el óptimo contenido de humedad.
- ✓ **CBR de Suelos (laboratorio), (MTC E 132 – 2000, ASTM D 1883, AASHTO T 193).**- El ensayo tiene como objetivo determinar la capacidad portante de un suelo en función de su estado, densidad y humedad, así como de la sobrecarga que se le aplique.
- ✓ El ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio) se puede llevar a cabo sobre un suelo compactado en laboratorio o bien sobre muestras inalteradas de un terreno determinado. Las muestras ya preparadas, pueden someterse a inundación de agua o ensayarlas sin inmersión.
- ✓ La metodología corresponde a muestras compactadas en el laboratorio ensayadas con inmersión. El hecho de efectuar la operación de inmersión, permite obtener datos ante la cantidad de agua que la muestra es capaz de absorber y del grado de inflamación asumido por la misma.
- ✓ **Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2) (MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96, ASTM C 535).**- Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 ½”) y agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (3/4”), por medio de la máquina de los Ángeles.
- ✓ **Cubrimiento de los Agregados con Emulsiones Asfálticas, (MTC E 412 – 2000, ASTM D 244, AASHTO T 59).**- El ensayo es una determinación visual de la facilidad de emulsión aniónica o catiónica para cubrir un determinado tipo de gravilla, básica o ácida, respectivamente, cuando se mezcla con ella en tiempo determinado.
- ✓ **Resistencia de Mezclas Bituminosas empleando el aparato de Marshall, (MTC E 504, ASTM D 1559, AASHTO T 245, NLT 159/86).**- Este ensayo describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas para pavimentación. El procedimiento puede emplearse tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de la mismas.

### **3.5 LEVANTAMIENTO DE INFORMACION**

Como ya se ha mencionado anteriormente el levantamiento de la información se realizara de los ensayos y de los resultados de los mismos los cuales serán condensados en gráficos estadísticos que posteriormente serán analizados a fin de concluir en la aceptación o negación de las hipótesis en relación al uso de materiales granulares mejorados con emulsión asfáltica.

## CAPITULO IV

### 4. PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS

#### 4.1 PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS APLICADOS A CADA UNA DE LAS CANTERAS EN ESTUDIO

##### 4.1.1 Análisis Granulométrico por tamizado (MTC E 107- 2000, ASTM D 422, AASHTO T 88, MTC E 107 – 2000).-

###### ✓ OBJETIVO

Conocer la distribución de tamaños existente en las muestras y luego realizar sus respectivas curvas granulométricas.

###### ✓ EQUIPO

1. Balanza de sensibilidad de 0.1 gr.
2. Juego de tamices: 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 8, N° 10, N° 20, N° 30, N° 40, N° 50, N° 100, N° 200, incluyendo tapa y fondo, las mallas son de abertura cuadrada.
3. Mortero y mano de mortero o un pulverizador mecánico de suelo.



Fotografía 4-1 Equipos de Laboratorio tamices de diferente diámetro

###### ✓ PROCEDIMIENTO

El proceso de la determinación de una granulometría total de una muestra sería una actividad inútil que tomaría mucho tiempo, por este motivo es recomendable el procedimiento conocido como

“Cuarteo” que consiste en disminuir el tamaño de la muestra por obtener una muestra representativa a un tamaño conveniente que facilite su manejo, o de dividirla en partes con similares características para utilizarlo en otros ensayos.

Se procede de la siguiente manera:

1. Se coloca la muestra buscando ocupar el mayor espacio posible en una superficie limpia y plana.
2. Se combina toda la muestra usando palas.
3. Se procede a formar con el material un depósito en forma cónico, este depósito cónico se aplanan con palas quedando la muestra de forma circular uniforme.
4. Con las palas se procede a dividir en cuatro partes más o menos iguales, se eligen dos partes opuestas y se unen, desechándose las otras dos.
5. Existen cuarteadores mecánicos que dividen la muestra más rápidamente, de preferencia son utilizados para grandes cantidades de material, pero se obtiene el mismo resultado
6. Se repite el procedimiento anterior hasta tener la cantidad de material necesario para el análisis granulométrico, en nuestro caso por tener partículas de tamaño máximo 2 pulgada más o menos 5 a 6 kg para el material granular.
7. Se seca en horno el material obtenido por cuarteo durante 24 horas a una temperatura de 110 °C o a la intemperie si el clima lo permite, la finalidad es conseguir un peso constante.
8. Se ubican los tamices colocándolos en forma descendente en cuanto a su diámetro, los diámetros mayores queden se sitúan arriba, el último tamiz colocado es el N° 200, debajo de la cual se coloca una base.
9. Se pasa el agregado por los tamices y se sacude un tiempo adecuado hasta que se observe que la muestra no pase al siguiente tamiz.

10. Se coloca una base o fondo para tamizar por separado cada malla debajo de la que se coloca la misma y se tamiza hasta que no pase material a ésta, el pasante se agrega al tamiz siguiente. El material retenido en cada tamiz se coloca en la base y luego se pesa. Para el agregado grueso es sencillo colocarlo en la base, en el agregado fino es necesario cuidar que no se pierda material o que quede retenido en un tamiz para evitar esto se utilizara una escobilla.
11. En todos los tamices se realiza el mismo procedimiento, registrándose en cada uno el peso que retiene. También se apunta el material que se almacena en la base que paso la malla N° 200. Esto nos permite controlar en caso de existencia de errores. Se anota el peso seco lavado antes de pasarlo por los tamices, la suma de los pesos retenidos en los distintos tamices hasta la malla N° 200 más el peso que queda en la base debe coincidir con éste.

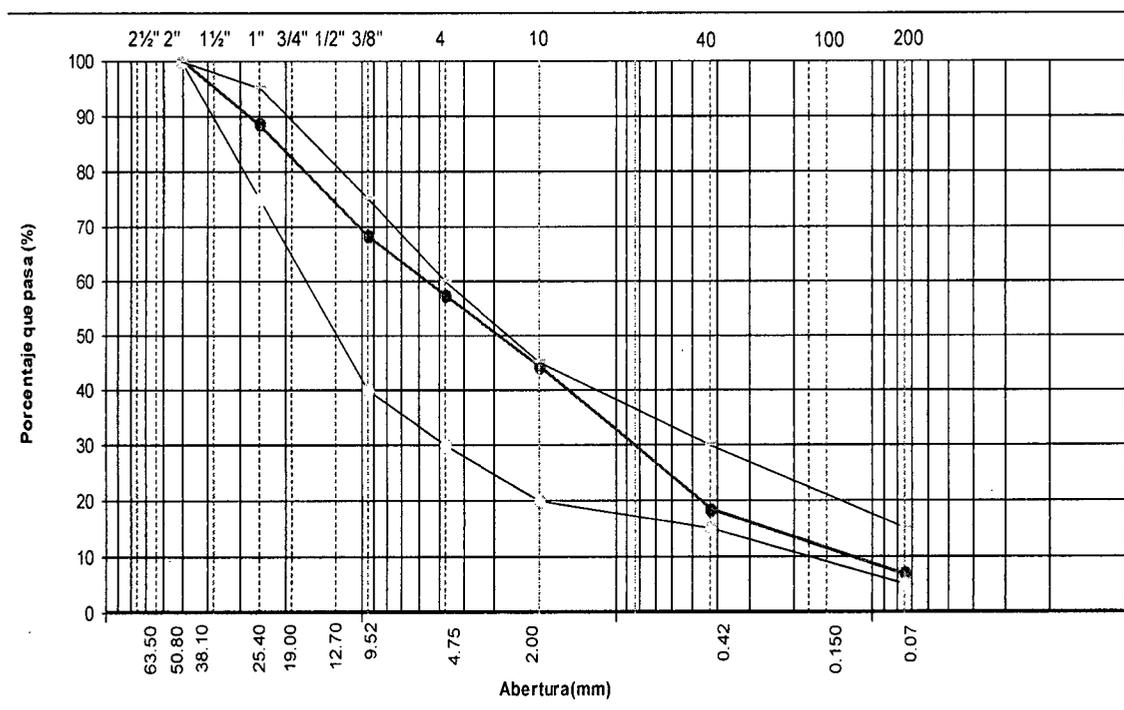
✓ RESULTADOS

Resultado del Análisis Granulométrico por tamizado de la cantera Tres tomas:

DATOS DE LA MUESTRA			
<b>MATERIAL GRANULAR</b>		Tamaño Máximo	: 2"
Cantera	: Tres Tomas	Peso Inicial	: 5000 g
		Frac. lavado seco	: 2864.8 g

TAMIZ	AASHTO T-27 mm	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200							
2 1/2"	63.500							
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	
1 1/2"	38.100	105.56	2.11	2.11	97.89			
1"	25.400	467.53	9.35	11.46	88.54	75.00	95.00	
3/4"	19.000	309.07	6.18	17.64	82.36			
1/2"	12.700	443.55	8.87	26.51	73.49			
3/8"	9.500	267.01	5.34	31.85	68.15	40.00	75.00	
Nº 4	4.750	542.48	10.85	42.70	57.30	30.00	60.00	
Nº 10	2.000	658.70	13.17	55.88	44.12	20.00	45.00	
Nº 20	0.840	734.11	14.68	70.56	29.44			
Nº 40	0.425	552.76	11.06	81.62	18.38	15.00	30.00	
Nº 50	0.300	282.52	5.65	87.27	12.73			
Nº 100	0.150	171.24	3.42	90.69	9.31			
Nº 200	0.075	126.29	2.53	93.22	6.78	5.00	15.00	
< Nº 200	FONDO	339.18	6.78	100.00	0.00			

CURVA GRANULOMETRICA

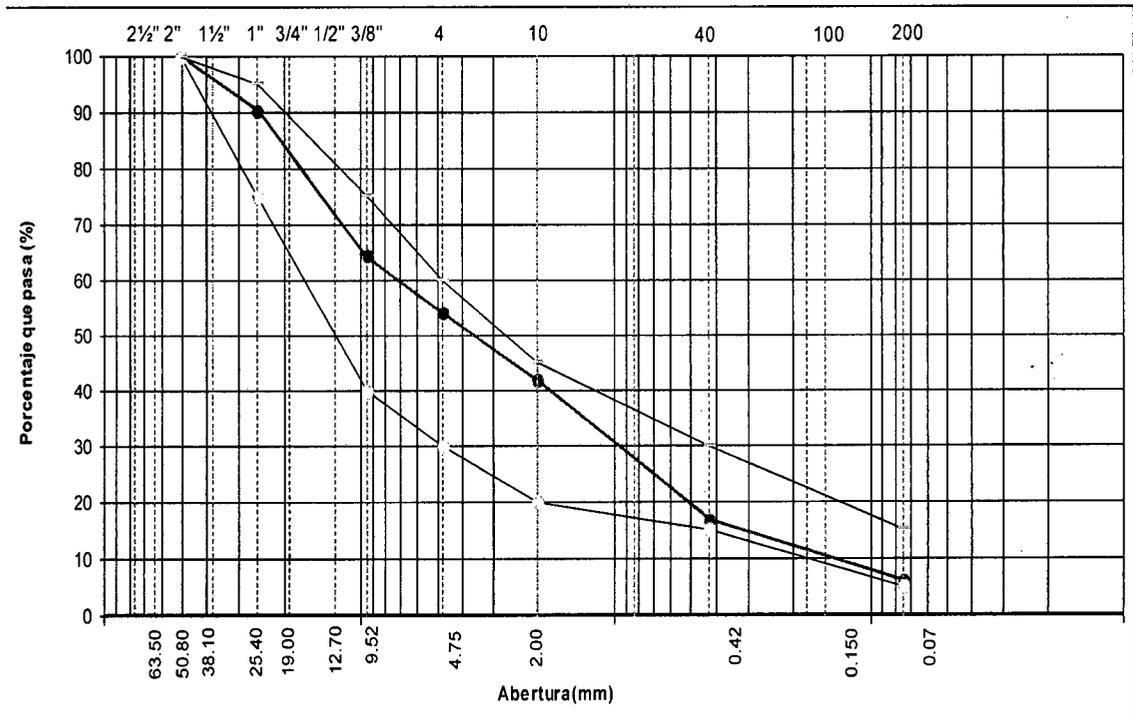


**Resultado del Análisis Granulométrico por tamizado de la cantera el cinco:**

DATOS DE LA MUESTRA			
MATERIAL GRANULAR		Tamaño Máximo	: 2"
Cantera	: El cinco	Peso Inicial	: 6000 g
		Frac. lavado seco	: 3672.8 g

TAMIZ	AASHTO T-27 mm	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200							
2 1/2"	63.500							
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	
1 1/2"	38.100	152.00	2.53	2.53	97.47			
1"	25.400	431.00	7.18	9.72	90.28	75.00	95.00	
3/4"	19.000	520.00	8.67	18.38	81.62			
1/2"	12.700	587.00	9.78	28.17	71.83			
3/8"	9.500	455.00	7.58	35.75	64.25	40.00	75.00	
Nº 4	4.750	616.56	10.28	46.03	53.97	30.00	60.00	
Nº 10	2.000	741.00	12.35	58.38	41.62	20.00	45.00	
Nº 20	0.840	720.00	12.00	70.38	29.62			
Nº 40	0.425	780.00	13.00	83.38	16.62	15.00	30.00	
Nº 50	0.300	298.00	4.97	88.34	11.66			
Nº 80	0.177	0.00	0.00	88.34	11.66			
Nº 100	0.150	214.00	3.57	91.91	8.09			
Nº 200	0.075	120.00	2.00	93.91	6.09	5.00	15.00	
< Nº 200	FONDO	366.00	6.10	100.00	0.00			
SUMATORIA		6000.56			100.00			

**CURVA GRANULOMETRICA**



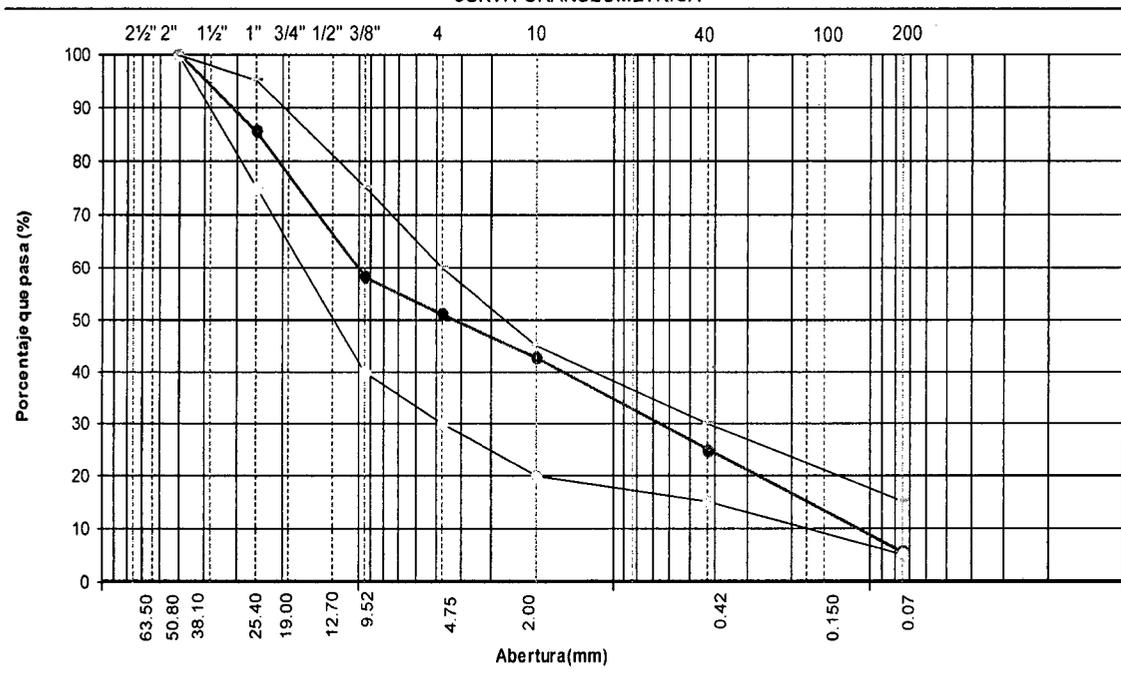
**Resultado del Análisis Granulométrico por tamizado de la cantera San Luis  
(60%) y Cachinche (40%):**

DATOS DE LA MUESTRA			
<b>MATERIAL GRANULAR</b>		<b>Tamaño Máximo</b>	: 2"
<b>Cantera</b>	: San Luis (60%)+ Cachinche (40%)	<b>Peso Inicial</b>	: 5000 g
		<b>Frac. lavado seco</b>	: 2722.0 g

TAMIZ	AASHTO T-27 mm	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200							
2 1/2"	63.500							
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	
1 1/2"	38.100	205.00	4.10	4.10	95.90			
1"	25.400	520.00	10.40	14.50	85.50	75.00	95.00	
3/4"	19.000	395.00	7.90	22.40	77.60			
1/2"	12.700	543.00	10.86	33.26	66.74			
3/8"	9.500	430.00	8.60	41.86	58.14	40.00	75.00	
Nº 4	4.750	354.00	7.08	48.94	51.06	30.00	60.00	
Nº 10	2.000	450.00	8.44	57.38	42.62	20.00	45.00	
Nº 20	0.840	270.00	5.06	62.45	37.55			
Nº 40	0.425	685.00	12.85	75.30	24.70	15.00	30.00	
Nº 50	0.300	485.00	9.10	84.39	15.61			
Nº 100	0.150	525.00	9.85	94.24	5.76			
Nº 200	0.075	10.00	0.19	94.43	5.57	5.00	15.00	
< Nº 200	FONDO	163.00	3.06	97.49	2.51			

5035.0

**CURVA GRANULOMETRICA**



**4.1.2 Determinación del Limite Liquido (MTC E 110 – 2000, ASTM D 4318, AASHTO T 89), Determinación del Limite Plástico (L.P.) e Índice de Plasticidad (L.I.) (MTC E 111 – 2000, ASTM 4318, AASHTO T90).-**

**Plasticidad**

Es la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse. (AVILA, 2004)

La determinación de esta propiedad se la realiza separando de la mezcla de agregados el material que pasa la malla N° 40. Por este motivo se asume que este material fino se comportaría como un suelo.

Al tratar de definir en términos simples la plasticidad, no resulta suficiente decir que un suelo plástico, puede deformarse y remodelarse sin agrietamiento, pues una arena fina y húmeda tiene esas características cuando la deformación se produce lentamente y, a pesar de ello, no es plástica en un sentido más amplia de la palabra; hay entre el comportamiento de la arcilla y el de la arena en cuestión una importante diferencia: el volumen de la arcilla permanece constante durante la deformación, mientras que el de la arena varía; además, la arena se desmorona en deformación rápida.

**Estado de Consistencia.- Límites de Plasticidad.**

Según su contenido de agua en forma decreciente, una mezcla de agregados susceptible de ser plástico, puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos por Atterberg:

- 1. Estado Líquido.-** Con las propiedades y apariencias de una suspensión.
- 2. Estado Semilíquido.-** Con las propiedades de un fluido viscoso.
- 3. Estado Plástico.-** El suelo se comporta plásticamente.
- 4. Estado Semisólido.-** El suelo tiene la apariencia de un sólido, disminuye de volumen al someterse al secado.

**5. Estado Sólido.-** El volumen de la mezcla no o suelo no varía con el secado.

### **Consistencia de Suelos Amasados**

Después que un suelo cohesivo ha sido amasado, su consistencia puede ser variada a voluntad, aumentando o disminuyendo su contenido de humedad. Así, por ejemplo si se reduce lentamente el contenido de humedad de un barro arcilloso líquido, la arcilla pasa gradualmente del estado líquido al estado plástico y finalmente al estado sólido. El contenido de humedad a que se produce el paso de un estado al otro es muy distinto para las diferentes arcillas y por ello dichos contenidos de humedad pueden ser utilizados para identificar y comparar las arcillas entre sí. Sin embargo, la transición de un estado al otro no ocurre en forma abrupta, tan pronto se alcanza un contenido de humedad crítica, sino en forma muy gradual.

El método que ha resultado más apropiado a los propósitos de los ingenieros, fue tomado de la agronomía y se conoce como el método de Atterberg. Los contenidos de humedad que corresponden a los límites entre los distintos estados de consistencia se conocen también como límites de Atterberg.

Para determinar la consistencia de los suelos se hace uso de los Límites de Atterberg, que separan los estados de consistencia de los suelos.

Estos límites son:

- ✓ Límite Líquido,
- ✓ Límite Plástico y
- ✓ Índice de Plasticidad.

### **Límite Líquido**

Indica el contenido de humedad en que el suelo pasa del estado plástico al líquido, además revela si el suelo contiene humedad suficiente para superar la fricción y cohesión interna.

Cuando la plasticidad se convirtió en una propiedad índice fundamental, a partir de la utilización que Terzaghi y Casagrande hicieron de ella, la determinación de los límites de plasticidad se transformó en prueba de rutina en todos los laboratorios; en este caso, los métodos de Atterberg se revelaron ambiguos, dado que la influencia del operador es grande y que muchos detalles, al no estar especificados, quedaban a su elección. En vista de lo cual, Terzaghi sugirió a Casagrande la tarea de elaborar un método de prueba para la determinación del límite líquido estandarizando todas sus etapas.

Para situar el material en el límite líquido se utiliza la copa de Casagrande.

El límite líquido se determina conociendo 3 o 4 contenidos de agua diferentes en su vecindad, con los correspondientes números de golpes y trazando la curva Contenido de agua – Número de golpes.

Para la construcción de curva de fluidez sin salirse del intervalo en que puede considerarse recta.

Casagrande recomienda registrar valores entre los 6 y 35 golpes, determinado 6 puntos, tres entre 6 y 15 golpes, y tres entre 23 y 32. La fuerza que compone a la fluencia de los lados de la ranura proviene de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, este material tiene una resistencia mínima al esfuerzo cortante de 25 gr/cm<sup>2</sup>.

El número de golpes requerido para cerrar la ranura es una medida de esa resistencia, al correspondiente contenido de agua.

### **Límite Plástico**

Cuando el suelo pasa de semi-sólido a plástico porque contiene humedad suficiente se dice que ha traspasado su límite plástico. La

resistencia del suelo disminuye rápidamente al aumentar el contenido de humedad más allá del límite plástico.

La prueba para la determinación del límite plástico, tal como Atterberg la definió, no especifica el diámetro a que debe llegarse al formar el cilindro de suelo requerido. Terzaghi agregó que el diámetro sea de 3 mm (1/8"). La formación de los rollitos se hace usualmente sobre una hoja de papel totalmente seca, para acelerar la pérdida de humedad del material; también es frecuente efectuar el rolado sobre una placa de vidrio. Cuando los rollitos llegan a los 3 mm, se doblan y presionan, formando una pastilla que vuelve a rolarse, hasta que en los 3 mm justos ocurra el desmoronamiento y agrietamiento; en tal momento se determinará rápidamente su contenido de agua, que es el límite plástico.

#### **El índice plástico.**

El índice plástico se lo define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Es una medida de la plasticidad del suelo.

#### **• OBJETIVO**

Determinar en el laboratorio, el Límite Plástico, Límite Líquido y Índice de Plasticidad de los materiales granulares.

#### **• EQUIPO**

1. Dispositivo mecánico (Copa de Casagrande)
2. Papel periódico para secado de muestras
3. Muestras de material a ensayarse
4. Envase de plástico que contiene agua
5. Acanaladores: Tipo ASTM Tipo Casagrande o laminar
6. Franela o esponja
7. Plato para mezclado, de aproximadamente 115 mm de diámetro.
8. Espátula
9. Superficie de rodadura.- Una placa de vidrio esmerilado.

10. Recipientes
11. Balanza
12. Horno capaz de mantener constantemente una temperatura de 110 °C

• **PROCEDIMIENTO**

**Para hallar el Límite Líquido**

1. Colocamos la muestra en el recipiente metálico y mezclar con la espátula hasta obtener una pasta homogénea y densa que pueda moldearse fácilmente.
2. Con la ayuda de la espátula colocar una porción de la pasta en la Copa de Casagrande sobre la parte que descansa en la base, extendiéndola rápida y cuidadosamente con la espátula, presionando bien para que no quede espacios dentro de la muestra.
3. Con la espátula enrazar la superficie de la muestra de tal manera que tenga una profundidad de 1 cm en la sección de espesor máximo, regresando el suelo sobrante al recipiente metálico.
4. Con el acanalador tipo ASTM realizar un canal en la muestra, de manera que el plano de simetría del canal sea perpendicular a la articulación de la copa y procurando además, que el acanalador se mantenga normal a la superficie de la copa.
5. Girar la manivela a una velocidad constante de 2 golpes/seg, y contar los golpes necesarios para que las dos mitades de muestra se pongan en contacto al fondo del canal en una longitud continua de alrededor de 1 cm, por fluencia de la muestra y no por deslizamiento entre la muestra y la copa.
6. Si el número de golpes para la primera determinación esta entre 25 y 45 golpes, continuar normalmente como se indica los siguientes pasos, si no, añadir agua o secarla al aire, lo que fuera más apropiado y repetir los pasos anteriores hasta que esta condición se obtenga.
7. Regresar el material de la copa al recipiente metálico y mezclar completamente, limpiar y secar la copa y el acanalador y repetir

los pasos 2 y 6, hasta que se obtenga dos determinaciones congruentes con diferencia máxima de un golpe.

8. Del lugar donde se juntan los bordes del canal, tomar con la espátula una porción de muestra y colocarlo en el recipiente adecuado para proceder a determinar el contenido de humedad.
9. Para efectuar los distintos ensayos, hacer el amasado de la muestra únicamente mediante el aumento progresivo de agua, de tal manera que cada vez el suelo se torne más fluido.

**Para hallar el Límite Plástico:**

1. Se requiere una cantidad de suelo con una masa aproximada de 20 g que pase el tamiz 0.425 mm (No. 40), obtenido de acuerdo a la norma AASHTO T 87.
2. Colocar al suelo en el plato de mezclado y agregar agua destilada hasta que la masa se vuelva plástica y pueda formarse fácilmente una esfera.
3. Tomar una porción de 1.5 a 2.0 g de la masa de suelo y forme una masa elipsoidal.
4. Ruede la masa del suelo entre la palma de la mano y la placa de vidrio hasta obtener un hilo de diámetro uniforme a una velocidad de 80 a 90 ciclos por minuto. El hilo se irá formando hasta que su diámetro alcance 3 a 3.2 mm, esto no debe tomar más de 2 minutos.

• **CÁLCULOS**

**Para el contenido de Humedad:**

El porcentaje de la humedad de las muestras de suelo se las puede calcular con la siguiente formula:

$$w\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\%$$

**Dónde:**

w = Contenido de agua, en %

W1 = Peso del recipiente, en gr

W2= Peso del recipiente más material Húmedo, en gr. W3 = Peso del recipiente más material Seco, en gr.

**Índice de Plasticidad:**

$$I_p = Ll - Lp$$

**Dónde:**

Ll = límite líquido

Lp = límite plástico

- **RESULTADOS**

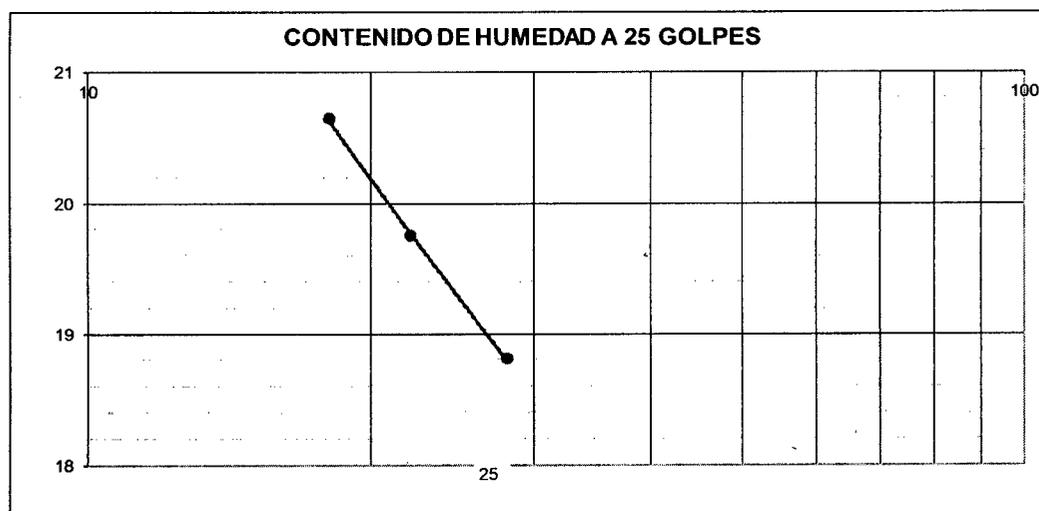
Los resultados del Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los materiales granulares se encuentran en las siguientes tablas.

**Resultado de los Ensayos de Limite Liquido, Limite Plástico y Índice Plástico de  
la cantera Tres Tomas**

DATOS DE LA MUESTRA	
MATERIAL GRANULAR	
CANTERA	Tres Tomas

LIMITE LIQUIDO					
Nº CÁPSULA		102	187	62	
PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO (g)		44.87	43.93	51.05	
PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)		40.78	40.16	46.53	
PESO DE AGUA (g)		4.09	3.77	4.52	
PESO DE CÁPSULA (g)		20.97	21.08	22.50	
PESO DEL SUELO SECO (g)		19.81	19.08	24.03	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		20.65	19.76	18.81	
NUMERO DE GOLPES		18	22	28	

LIMITE PLASTICO	
Nº CÁPSULA	2
PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO (g)	42.61
PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)	39.61
PESO DE AGUA (g)	3.00
PESO DE CÁPSULA (g)	22.27
PESO DEL SUELO SECO (g)	17.34
CONTENIDO DE DE HUMEDAD (%)	17.30



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA		
LIMITE LIQUIDO	19.46	%
LIMITE PLASTICO	17.30	%
INDICE DE PLASTICIDAD	2.16	%

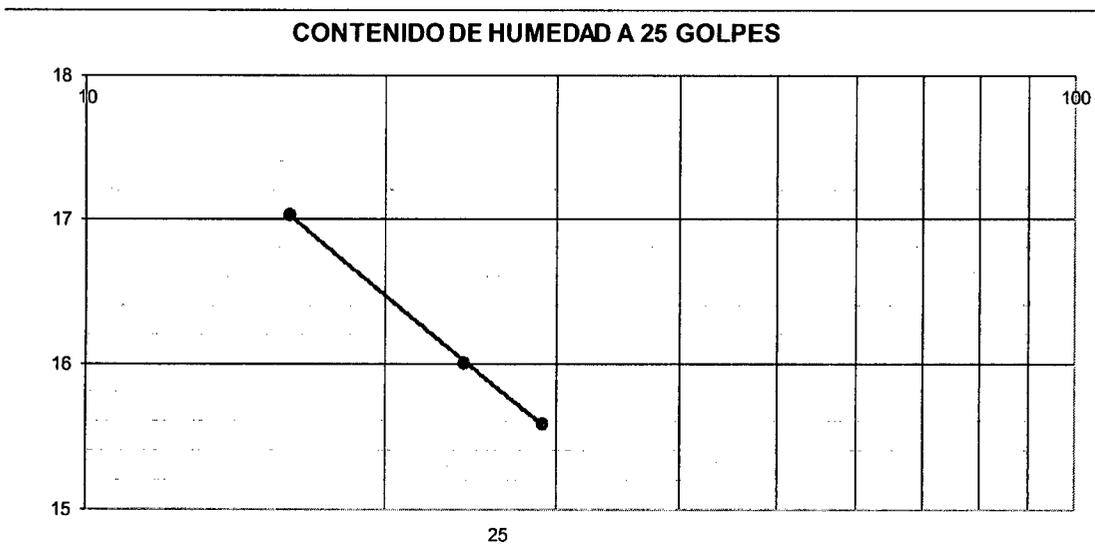
OBSERVACIONES

**Resultado de los Ensayos de Limite Liquido, Limite Plástico y Índice Plástico de la Cantera El Cinco.**

DATOS DE LA MUESTRA	
MATERIAL GRANULAR	
CANTERA	: El Cinco

LIMITE LIQUIDO					
Nº CÁPSULA		339	356	277	
PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO (g)		54.16	50.20	45.64	
PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)		49.43	46.39	42.34	
PESO DE AGUA (g)		4.73	3.81	3.30	
PESO DE CÁPSULA (g)		21.66	22.59	21.17	
PESO DEL SUELO SECO (g)		27.77	23.80	21.17	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		17.03	16.01	15.59	
NUMERO DE GOLPES		16	24	29	

LIMITE PLASTICO	
Nº CÁPSULA	73
PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO (g)	43.91
PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)	41.11
PESO DE AGUA (g)	2.80
PESO DE CÁPSULA (g)	22.07
PESO DEL SUELO SECO (g)	19.04
CONTENIDO DE DE HUMEDAD (%)	14.71



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	15.93 %
LIMITE PLASTICO	14.71 %
INDICE DE PLASTICIDAD	1.22 %

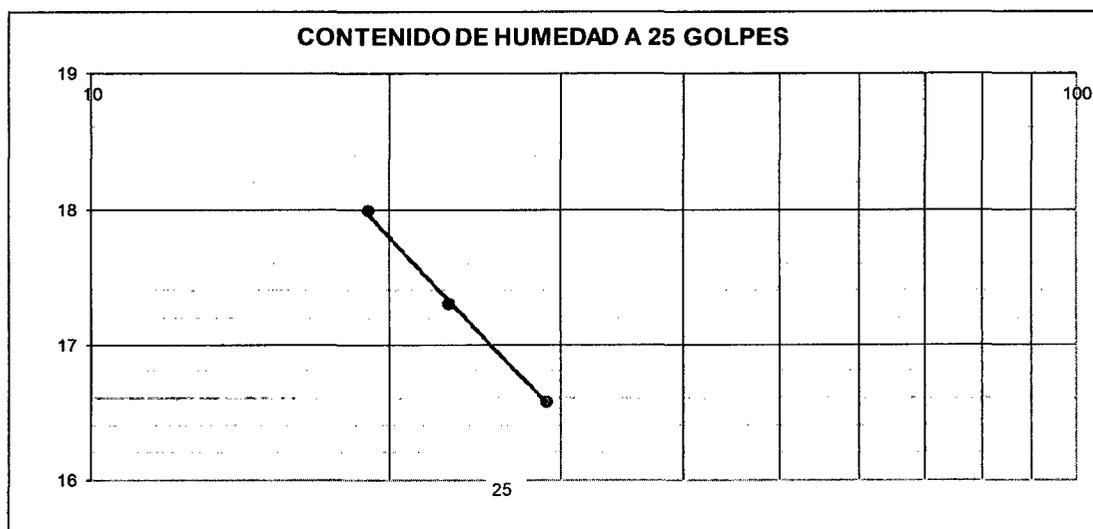
OBSERVACIONES

**Resultado de los Ensayos de Límite Líquido, Límite Plástico y Índice Plástico de  
la cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%):**

DATOS DE LA MUESTRA	
<b>MATERIAL GRANULAR</b>	
<b>CANTERA</b>	San Luis (60%) y Cachinche (40%)

LÍMITE LÍQUIDO					
Nº CÁPSULA		42	222	87	
PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO (g)		49.73	47.52	46.21	
PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)		45.41	43.62	42.73	
PESO DE AGUA (g)		4.32	3.90	3.48	
PESO DE CÁPSULA (g)		21.39	21.08	21.74	
PESO DEL SUELO SECO (g)		24.02	22.54	20.99	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		17.99	17.30	16.58	
NUMERO DE GOLPES		19	23	29	

LÍMITE PLÁSTICO	
Nº CÁPSULA	46
PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO (g)	45.27
PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)	42.63
PESO DE AGUA (g)	2.64
PESO DE CÁPSULA (g)	23.05
PESO DEL SUELO SECO (g)	19.58
CONTENIDO DE DE HUMEDAD (%)	13.48



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA		
LÍMITE LÍQUIDO	17.13	%
LÍMITE PLÁSTICO	13.48	%
ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD	3.65	%

OBSERVACIONES

#### **4.1.3 Equivalente de Arena, Suelos y Agregados Finos, (MTC E 114 – 2000, ASTM 2419, AASHTO T 176).-**

El ensayo de equivalente de arena es un método para determinar las cantidades indeseables de polvo fino y arcilla en la muestra de agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (N° 4).

El término de equivalente de arena asume que todos los suelos tienen partículas de diferentes tamaños estos se encuentran mezclados desde tamaños gruesos, arenas y finos.

En el ensayo se puede definir al equivalente de arena como la relación entre la altura de la arena con respecto a la altura de la arcilla expresada en porcentaje.

Este procedimiento puede utilizarse fácilmente en obra para determinar cambios en la calidad de los agregados.

- **OBJETIVO**

Asignar un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular que pasa el tamiz N°4 (4.75 mm).

- **EQUIPO**

1. Tuvo irrigador de acero inoxidable, cobre o bronce, de 6.35 mm de diámetro exterior, 508 mm de longitud, cuyo extremo inferior está cerrado en forma de cuña. Tiene dos agujeros laterales de 1 mm de diámetro en los dos planos de la cuña cerca de la punta.
2. Sistema de Sifón. Se compone de un botellón de 1 galón (3.8 lt) de capacidad con un tapón. El tapón tiene dos orificios que lo atraviesan, uno para el tubo del sifón y el otro para entrada de aire. El conjunto deberá ubicarse a 90 cm por encima de la mesa.
3. Probeta graduada. Con diámetro interior de  $31.75 \pm 0.381$  mm y 431.8 mm de altura graduada hasta una altura de 381 mm,

provista de un tapón de caucho o goma que ajuste en la boca del cilindro.

4. Tubo flexible de caucho o goma con 4.7 mm de diámetro, tiene una pinza que permite cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo permite conectar el tubo irrigador con el sifón.
5. Pisón de metal. Consistente en una barra metálica de 457 mm de longitud que tiene enroscado en su extremo inferior un disco metálico de cara inferior plana perpendicular al eje de la barra y cara superior de forma cónica. El disco lleva tres tornillos pequeños que sirven para centrarlo dentro del cilindro. Lleva una sobrecarga en forma cilíndrica, de tal manera que el conjunto pese 1 kg. (barra metálica, disco y sobrecarga).
6. Recipiente metálico. De estaño aproximadamente de 57 mm de diámetro con capacidad de  $85\pm 5$  ml, borde superior uniforme de modo que la muestra que se coloca en ella se pueda enrasar para conseguir el volumen requerido.
7. Cronómetro o reloj. Lecturas en minutos y segundos
8. Embudo. De boca ancha para incorporar la muestra de ensayo en la probeta graduada.
9. Tamiz. Tamiz N°4 según especificaciones ASTM E11
10. Recipiente para mezcla
11. Horno. Capaz de mantener temperaturas de  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ .
12. Papel filtro

### **Preparación de la Solución Madre**

#### **Reactivos y materiales**

1. Agua destilada
2. Reactivos y materiales
3. Cloruro de calcio anhidro, 454 gr.
4. Glicerina USP, 2050 gr (1640 ml)
5. Formaldehído, (40% en volumen) 47 gr (45 ml)

### **Preparación**

1. Disolver 454 gr. cloruro de calcio anhidro en 0.5 gal (1.9 lt) de agua destilada.
2. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se pasa por papel de filtro. A la solución filtrada se le incorpora los 2050 gr de glicerina y 47 gr. de formaldehído mezclar bien.

### **Preparación de la Solución de Trabajo**

#### **Reactivos y materiales**

1. Solución madre
2. Agua destilada

### **Preparación**

1. Diluir  $85 \pm 5$  ml de la solución madre en 1 gal (3.8 lt) de agua destilada

### **Preparación de la muestra**

1. Separar aproximadamente 1500 gr de material que pase el tamiz N° 4 (4.75 mm) ASTM D 75 de acuerdo ASTM 702.
2. Secar la muestra de ensayo a peso constante de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  y dejarlo enfriar a temperatura ambiente antes del ensayo.

### **Preparación de Aparatos**

1. Ajustar el sifón a un botellón de 1.0 gal (3.8 lt) conteniendo la solución de trabajo de cloruro de calcio. Colocarlo en un lugar ubicado a  $91 \pm 3$  cm sobre la mesa de trabajo.
2. Soplar el sifón dentro del botellón con solución, por el tubo de purga y con la abrazadera abierta.

### **• PROCEDIMIENTO**

1. Por el sifón verter  $102 \pm 3$  mm (4 pulg). de solución de trabajo de cloruro de calcio, en la probeta.

2. Con ayuda del embudo verter en la probeta,  $85 \pm 5$  cm<sup>3</sup> del suelo preparado.
3. Golpear la parte baja del cilindro varias veces con la palma de la mano para desalojar las posibles burbujas de aire y para humedecer completamente la muestra. Dejar reposar durante  $10 \pm 1$  min.
4. Transcurridos los 10 min., tapar la probeta con un tapón; suelte el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agiténdolo a la vez. El material puede ser agitado con cualquiera de los siguientes métodos:

**a. Método mecánico**

- i. Colóquese la probeta tapada en el agitador mecánico, y permitir que lo sacuda por  $45 \pm 1$  s.

**b. Método del agitador manual**

- i. Ajustar la probeta tapada con las tres pinzas de resorte, sobre el soporte del agitador manual y ponga el contador en tiempo cero.
- ii. Párese frente al agitador y fuerce el puntero sobre la marca límite pintada en el tablero, aplicando la fuerza horizontal sobre la biela resortada del lado derecho. Luego retirar la mano de la biela y deje que la acción del resorte mueva el soporte y la probeta en la dirección opuesta sin ayuda e impedimento alguno.
- iii. Aplique suficiente fuerza a la biela resortada, con la mano derecha, durante el recorrido con empuje para llevar el índice hasta la marca límite del émbolo, empujando la biela con la punta de los dedos para mantener un movimiento oscilatorio suave. El centro del límite de carrera está colocado para prever la longitud adecuada del movimiento y su ancho se ajusta al máximo de variación permitida. La cantidad correcta de agitación se logra solamente cuando el extremo del índice

invierte su dirección dentro de los límites marcados. Una correcta agitación puede mantenerse usando solamente el antebrazo y la muñeca para mantener el agitador.

iv. Continúe la agitación por 100 ciclos.

**c. Método manual**

- i. Sujetar la probeta en posición horizontal y sacudirla vigorosamente de izquierda a derecha.
  - ii. Agitar el cilindro 90 ciclos en 30 segundos, usando un recorrido de  $23\pm 3$  cm. Un ciclo se define como el movimiento completo a la derecha seguido por otro a la izquierda. El operador deberá mover solamente los antebrazos manteniendo el cuerpo y hombros relajados.
5. Concluida con la operación de agitación, colocar la probeta verticalmente sobre la mesa de trabajo y quitar el tapón.

**Proceso de irrigación.**

1. El cilindro no deberá moverse de su posición vertical y con la base en contacto con la superficie de trabajo.
2. Introduzca el tubo irrigador en la parte superior de la probeta, suelte la abrazadera de la manguera y limpie el material de las paredes de la probeta mientras el irrigador baja.
3. El irrigador debe llegar hasta el fondo, aplicando suavemente una presión y giro mientras que la solución de trabajo fluye por la boca del irrigador, esto impulsa el material fino desde el fondo hacia arriba poniéndolo sobre las partículas gruesas de arena.
4. Cuando el nivel del líquido alcance la señal de los 38 cm, levante el tubo irrigador despacio sin que deje de fluir la solución, de tal manera que el nivel se mantenga cerca de 38.0 cm mientras se saca el tubo. Regule el flujo justo antes

que el tubo esté completamente fuera y ajuste el nivel final a los 38.0 cm.

#### **Lectura de arcilla.**

1. Dejar reposar durante 20 min.  $\pm$  15 s. Comience a medir el tiempo luego de retirar el tubo irrigador.
2. Al término de los 20 min., leer el nivel superior de la suspensión de arcilla. Este valor se denomina lectura de arcilla. Si la línea de marca no es clara transcurridos los 20 min. del período de sedimentación, permita que la muestra repose sin ser perturbada hasta que una lectura de arcilla pueda ser claramente obtenida; inmediatamente, lea y anote el nivel máximo de la suspensión arcillosa y el tiempo total de sedimentación. Si el período total de sedimentación excede los 30 min., efectúe nuevamente el ensayo, usando tres especímenes individuales de la misma muestra. Registre la lectura de la columna de arcilla para la muestra que requiere el menor tiempo de sedimentación como lectura de arcilla.

#### **Lectura de arena.**

1. Después de la lectura de arcilla, introduzca en la probeta el ensamblaje del pie (conjunto del disco, varilla y sobrepeso) y baje lentamente hasta que llegue sobre la arena. No permitir que el indicador golpee la boca de la probeta mientras se baja el conjunto.
2. Cuando el conjunto toque la arena con uno de los tornillos de ensamblaje hacia la línea de graduación de la probeta, lea y anote. Restar 25.4 cm. del nivel indicado en el borde superior del indicador y registrar este valor como la lectura de arena.
3. Después de tomar la lectura de arena, tenga cuidado de no presionar con el pie porque podría dar lecturas erróneas.

4. Si las lecturas de arcilla y arena están entre 2.5 mm de graduación (0.1 pulgadas), registrar el nivel de graduación inmediatamente superior como lectura.

• **RESULTADO**

Los resultados del ensayo Equivalente de Arena de los materiales granulares de las canteras Tres Tomas, El cinco, San Luis (60%) y Cachinche (40%). Se presentan en las siguientes tablas:

**Resultado del Ensayo Equivalente de Arena de la Cantera Tres Tomas.**

DATOS DE LA MUESTRA	
Material Granular	
Cantera	: Tres Tomas

	A.- NIVEL SUPERIOR DE ARENA	140	
	B.- NIVEL SUPERIOR DE ARCILLA	175	
	C.- NIVEL DE ARCILLA	35	

FORMULA = A/B*100		
	EQUIVALENTE DE ARENA =	80.00 %

• **Resultado del Ensayo Equivalente de Arena de la Cantera El Cinco.**

DATOS DE LA MUESTRA	
Material Granular	
Cantera	: El Cinco

	A.- NIVEL SUPERIOR DE ARENA	145	
	B.- NIVEL SUPERIOR DE ARCILLA	168	
	C.- NIVEL DE ARCILLA	23	

FORMULA = A/B*100		
-------------------	--	--

	EQUIVALENTE DE ARENA =	86.31 %
--	------------------------	---------

**Resultado del Ensayo Equivalente de Arena de la Cantera San Luis  
(60%) y Cachinche(40%).**

DATOS DE LA MUESTRA	
<b>Material Granular</b>	
<b>Cantera</b>	: San Luis (60%)+Cachinche(40%)

	A.- NIVEL SUPERIOR DE ARENA	135	
	B.- NIVEL SUPERIOR DE ARCILLA	184	
	C.- NIVEL DE ARCILLA	49	

<b>FORMULA = A/B*100</b>	
--------------------------	--

<b>EQUIVALENTE DE ARENA =</b>	<b>73.37</b>	<b>%</b>
-------------------------------	--------------	----------

**4.1.4 Relaciones Humedad Densidad (Proctor Modificado)( MTC E 115 – 2000, ASTM D 1557).-**

**Compactación**

La relación entre la humedad y la densidad de un suelo o mezcla de materiales compactados como las bases, tienen una gran importancia y siempre se debe controlar que se cumpla en obra evitando grandes variaciones.

Para determinar estas propiedades se desarrolla el ensayo Proctor que lleva el nombre de quien investigo esta relación y quien propuso el procedimiento.

El procedimiento de este ensayo consiste en dejar caer un martillo de 5.5 libras de una altura de 12 pulgadas, sobre una superficie de material conociendo su volumen, una serie de golpes por capas, este procedimiento es conocido como PRÓCTOR NORMAL, luego se lo denominó AASHTO ESTÁNDAR T-99.

Posteriormente la necesidad de obtener mejor respuesta del suelo y mezcla de materiales obligó a que se modifique este ensayo, manteniendo el procedimiento anterior pero modificando el martillo a

10 libras de peso, la altura de caída a 18" y el volumen de los materiales a compactar.

A esta modificación se la conoce como PRÓCTOR MODIFICADO o AASHTO MODIFICADO T-180 usado generalmente en construcción de pavimentos, nos permite determinar la humedad óptima que se puede definir como la humedad ideal en la cual el suelo o la mezcla de materiales alcanza las mejores propiedades mecánicas.

El valor de la humedad óptima depende de la cantidad de energía de compactación a la que se expone el material a compactar. Esta humedad depende directamente de la cantidad de energía de compactación a la que se ha sometido el material; al ser mayor la energía de compactación, la humedad óptima será menor y la densidad seca será mayor.

En el método de compactación Proctor Estándar y Modificado la energía se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$E = \frac{n \times N \times W \times h}{V}$$

En donde:

E= Energía de compactación

n = Número de capas

N= Número de golpes por capa

W= Peso del Martillo

h = Altura de Caída

V = Volumen del molde

Las energías de compactación son las siguientes:

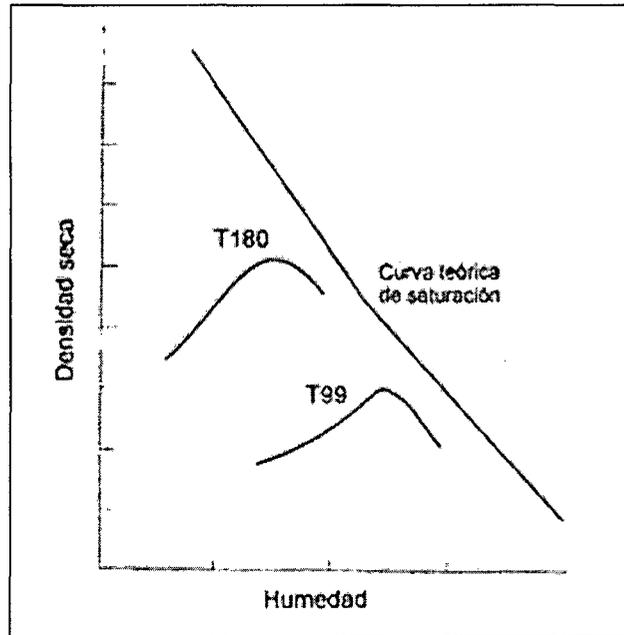
Ensayo Proctor Modificado:  $E_e = 27.2 \text{ kg-cm/cm}$

Ensayo Proctor Estándar:  $E_e = 6.1 \text{ kg-cm/cm}$

El empleo de una mayor energía de compactación permite alcanzar densidades secas mayores y humedades óptimas menores, esto se

comprueba al analizar los resultados obtenidos con las pruebas Proctor Estándar y Proctor Modificado mediante el uso de una curva de compactación.

Para el control de obras viales el MOP propone el uso de Proctor Modificado T-180 debido a la exigencia que presentan los materiales expuestos a los esfuerzos de las cargas vehiculares



**Figura 4-1 Curva de Compactación Densidad Seca = f (Humedad) Proctor**

- **OBJETIVO**

Determinar en el laboratorio el contenido óptimo de humedad que permite la mejor compactación de la mezcla de agregados en estudio.

- **EQUIPO**

1. Tamices N° 4 y ¾ pulg.
2. Martillo de cabeza de caucho.
3. Bandeja metálica grande.
4. Balanza de precisión, aproximación 0.1 gr.
5. Probeta graduada, capacidad 250 o 500 cm<sup>3</sup> de volumen.
6. Calibrador, aproximación 0.01 cm.

7. Molde de compactación cilíndrico, metálico. 152.4 mm de diámetro, Con un collar ajustable aproximadamente de 60 mm (2pulg) de altura.
8. Martillo de compactación con peso de 4.536 kg y cae desde una altura de 45.72 cm
9. Utensilio para enrasar (Cuchillo)
10. Bandeja
11. Horno de graduación de temperatura de hasta 110 °C como mínimo.

● **PROCEDIMIENTO**

1. Si la muestra de material granular se encuentra húmeda cuando se recibe, se la seca en el horno a una temperatura que no exceda los 60 °C o se seca al aire.
2. Se utiliza material pasante sobre el tamiz N° 3/ 4, el resto se desecha.
3. Si más del 75% de la muestra pasa por el tamiz de N° ¾, se utiliza todo el material para preparar los especímenes de ensayo, si el material retenido por el tamiz N° ¾ es mayor al 25 % se hace un reemplazo por material que pase el tamiz de N° ¾ y es retenido por el tamiz N° 4
4. Seleccione una muestra representativa, se recomienda muestras de 11 kg o más.
5. Se mezcla la muestra con agua hasta conseguir una humedad de 4% debajo del óptimo contenido de humedad.
6. Se deja reposando la muestra en un envase hermético por un tiempo mínimo.
7. Se procede a formar un espécimen en el molde de 152.4 mm de la siguiente manera: 5 capas de aproximadamente el mismo espesor y en cada capa se realizara la compactación mediante 56 golpes del martillo dejándolo caer de 457 mm de altura.
8. Luego de la compactación se procede a remover el collarín metálico y se retira el material adherido a este.
9. Se procede a eliminar cuidadosamente el material sobrante del molde metálico, para esto nos valemos de una regla metálica, el material

grosso eliminado será reemplazado por material fino que cubrirá los espacios dejados.

10. Se pesa el molde más la muestra en una balanza.
11. Se saca la muestra se toma la humedad actual, luego se la pone en el horno para determinar la humedad en el momento de la compactación.

- **CÁLCULOS**

- **Para el contenido de Humedad:**

El porcentaje de la humedad de las muestras de suelo se las puede calcular con la siguiente formula:

$$w\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\%$$

Dónde:

w = Contenido de agua, en %

W1 = Peso del recipiente, en gr

W2= Peso del recipiente más material Húmedo, en gr.

W3 = Peso del recipiente más material Seco, en gr

Densidad Humedad del Suelo

$$\text{Compactado} = \frac{\text{Peso de la Muestra}}{\text{Volumen}}$$

Densidad Seca del Suelo

$$\text{Compactado} = \frac{\text{Densidad humeda del Suelo compactado}}{\text{Contenido de Humeda} + 100} \times 100$$

- **RESULTADOS**

Los resultados del Ensayo Proctor Modificado de las canteras Tres Tomas, El Cinco y la mezcla de las canteras San Luis (60%) y Cachinche (40%) se encuentran en las siguientes tablas.

**Resultado del Ensayo Relación Humedad Densidad (Proctor Modificado)**  
**cantera Tres Tomas.-**

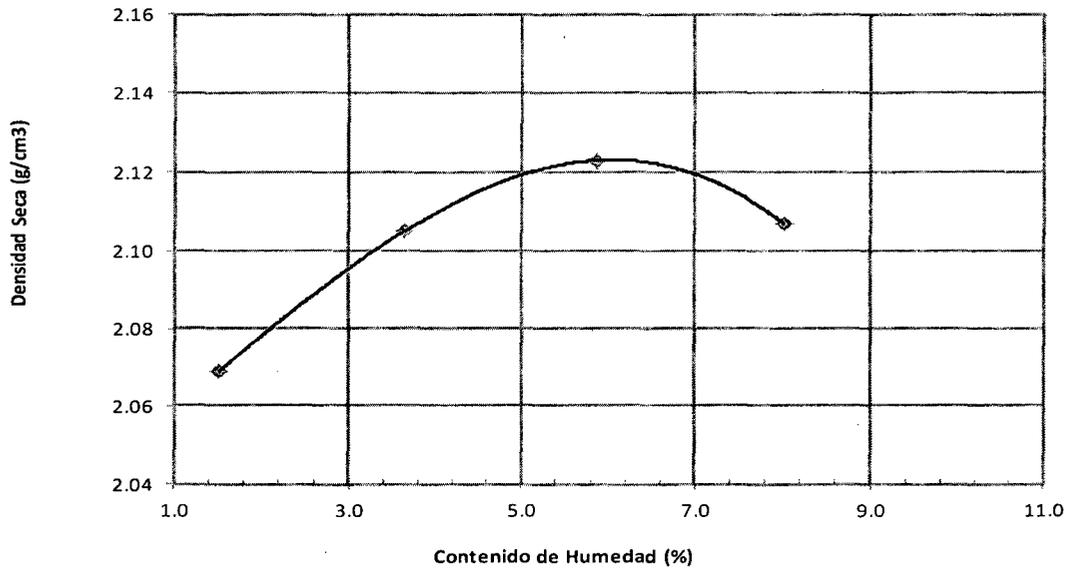
DATOS DE LA MUESTRA	
<b>Material Granular</b>	
<b>Cantera</b>	: Tres Tomas

VOLUMEN DEL MOLDE :		2114 cm <sup>3</sup>			
PRUEBA N° 2		1	2	3	4
1. Peso de molde + suelo compactado		7124	7295	7434	7495
2. Peso del molde		2683	2683	2683	2683
3. Peso del suelo compactado (1-2)		4441	4612	4751	4812
4. Densidad húmeda		2.101	2.182	2.247	2.276
5. Densidad seca		2.069	2.105	2.123	2.107

CONTENIDO DE HUMEDAD				
FRASCO N°	12	32	296	37
1. Peso de frasco + suelo húmedo	95.12	98.21	101.00	93.25
2. Peso de frasco + suelo seco	94.00	95.50	96.60	87.85
3. Peso de agua contenida (1-2)	1.12	2.71	4.40	5.40
4. Peso del frasco	20.45	21.11	21.50	20.41
5. Peso del suelo seco (2-4)	73.55	74.39	75.10	67.44
6. Contenido de humedad (3/5 * 100)	1.52	3.64	5.86	8.01

<b>Máxima Densidad Seca</b>	<b>2.13</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Optimo Contenido de Humedad</b>	<b>6.00</b>	<b>%</b>

**CONTENIDO DE HUMEDAD vs DENSIDAD SECA**



**Resultado del Ensayo Relación Humedad Densidad (Proctor Modificado)**  
**cantera El Cinco.**

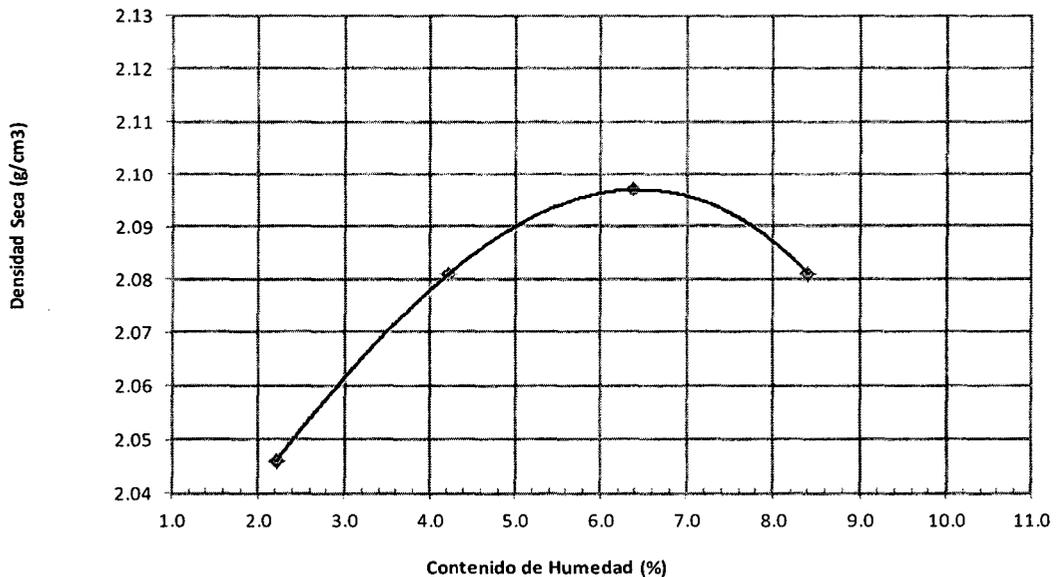
DATOS DE LA MUESTRA	
Material Granular	
Cantera	: El Cinco

VOLUMEN DEL MOLDE	2114 cm <sup>3</sup>			
PRUEBA N° 2	1	2	3	4
1. Peso de molde + suelo compactado	7103	7268	7398	7452
2. Peso del molde	2683	2683	2683	2683
3. Peso del suelo compactado (1-2)	4420	4585	4715	4769
4. Densidad húmeda	2.091	2.169	2.230	2.256
5. Densidad seca	2.046	2.081	2.097	2.081

CONTENIDO DE HUMEDAD				
FRASCO N°	14	211	201	301
1. Peso de frasco + suelo húmedo	91.52	93.25	98.12	90.32
2. Peso de frasco + suelo seco	90.00	90.30	93.50	85.00
3. Peso de agua contenida (1-2)	1.52	2.95	4.62	5.32
4. Peso del frasco	21.12	20.45	21.03	21.63
5. Peso del suelo seco (2-4)	68.88	69.85	72.47	63.37
6. Contenido de humedad (3/5 * 100)	2.21	4.22	6.38	8.40

Máxima Densidad Seca	2.10 gr/cm <sup>3</sup>
Optimo Contenido de Humedad	6.50 %

**CONTENIDO DE HUMEDAD vs DENSIDAD SECA**



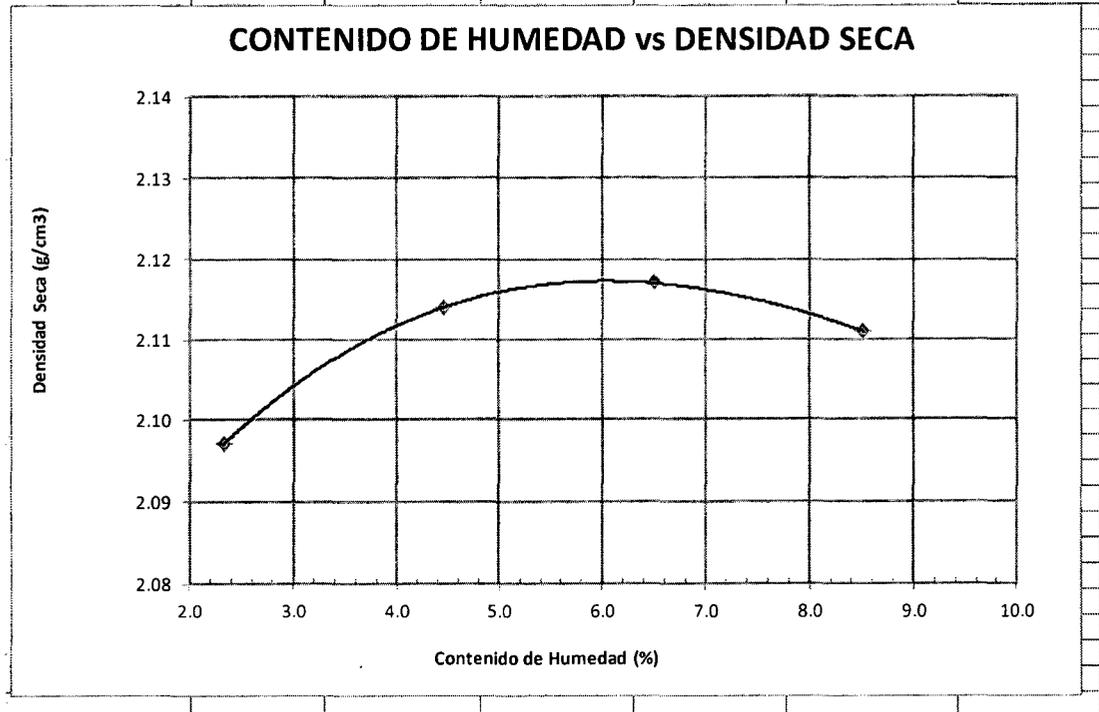
**Resultado del Ensayo Relación Humedad Densidad (Proctor Modificado)  
cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%).**

DATOS DE LA MUESTRA	
<b>Material Granular</b>	
Cantera	: San Luis (60%) + Cachinche (40%)

VOLUMEN DEL MOLDE :	2114 cm <sup>3</sup>			
PRUEBA N° 2	1	2	3	4
1. Peso de molde + suelo compactado	7220	7350	7450	7525
2. Peso del molde	2683	2683	2683	2683
3. Peso del suelo compactado (1-2)	4537	4667	4767	4842
4. Densidad húmeda	2.146	2.208	2.255	2.290
5. Densidad seca	2.097	2.114	2.117	2.111

CONTENIDO DE HUMEDAD				
FRASCO N°	12	32	025	37
1. Peso de frasco + suelo húmedo	96.11	92.35	88.00	80.68
2. Peso de frasco + suelo seco	94.40	89.30	84.00	76.00
3. Peso de agua contenida (1-2)	1.71	3.05	4.00	4.68
4. Peso del frasco	21.01	20.74	22.60	21.03
5. Peso del suelo seco (2-4)	73.39	68.56	61.40	54.97
6. Contenido de humedad (3/5 * 100)	2.33	4.45	6.51	8.51

<b>Máxima Densidad Seca</b>		<b>2.117</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Optimo Contenido de Humedad</b>		<b>6.20</b>	<b>%</b>



#### **4.1.5 CBR de Suelos (laboratorio), (MTC E 132 – 2000, ASTM D 1883, AASHTO T 193).-**

Hablar de Valor de Soporte de una estructura de pavimento, es hablar de la capacidad de soporte de cargas que poseen las capas que conforman el camino, siendo este un parámetro muy importante para el buen funcionamiento de un camino.

En la actualidad para determinar la capacidad soportante de un camino se utiliza valor que se obtiene a través del CBR (California Bearing Ratio), denominado así debido a que fue en California donde dio origen este ensayo.

La determinación de este ensayo se realiza bajo la norma AASHTO y que consiste en un procedimiento conjunto de penetración e hinchamiento.

El hinchamiento de la muestra se registra sometiendo el espécimen en inmersión durante un periodo de 4 días. Se efectúan dos lecturas, una al inicio y una al final; usando un trípode debidamente calibrado. El hinchamiento requiere un cuidado especial en suelos arcillosos o con mucho fino, debido a que pueden provocar asentamientos diferenciales, causales de muchos daños en obras civiles.

El ensayo de penetración tiene por objetivo determinar la capacidad soportante de un suelo o la mezcla de agregados, en analogía el SPT (Standard Penetration Test) empleado en geotecnia. Se basa en la aplicación de una presión creciente efectuada mediante una prensa a la que va acoplado un pistón de área anular sobre una muestra de suelo o mezcla con una humedad óptima de Proctor, en el caso de las Bases Proctor Modificado. La velocidad de penetración de la carga también está normalizada, debiendo ser de 1.27 mm/min. EL tamaño de los moldes a utilizar tendrá un diámetro interno de  $152.4 \pm 0.7$  mm y una altura de  $177.8 \pm 0.5$  mm; deberán tener un collar de extensión metálica

de 50.8 mm de altura y una placa base metálica de 9.5 mm de espesor con perforaciones de un diámetro menor o igual a 1.6 mm.

El valor de CBR se definió como la relación entre la presión necesaria para que penetre una cierta profundidad y la necesaria para conseguir esa misma penetración en un suelo patrón de grava machacada, expresada en porcentaje.

Comúnmente se toman diversos pares valores presión - penetración, para elaborar una gráfica que represente la tendencia del CBR a medida que varía la profundidad, suele tomarse 0.1" y 0.2", comparándose con los de la muestra patrón.

- **OBJETIVO**

Determinar la relación de soporte de California (CBR) de las bases granulares conformadas con los agregados estudiados, además evaluar la calidad relativa del para su uso como base.

- **EQUIPO**

1. Molde.- Metálico cilíndrico, diámetro interior  $6.0 \pm 0.026$  pulg, altura  $7.0 \pm 0.018$  pulg, provistos de un collar de 2 pulg de altura y un plato base perforado.
2. Disco espaciador
3. Pisón Metálico: Cara plana circular de 2 pulg de diámetro, masa de  $5.5 \pm 0.02$  lb y altura de caída libre de 18 pulg.
4. Dispositivo para medir la expansión
5. Trípode con deformímetro
6. Pesos de sobrecarga
7. Pistón de penetración.- Cilíndrico metálico diámetro  $1.954 \pm 0.005$  pulg, área 3 pulg<sup>2</sup>, y una longitud no inferior a 4 pulg.
8. Dispositivo de Carga.- Aparato de compresión capaz de aplicar carga creciente uniforme a una razón de 0.05 pulg/min.

9. Tanque de remojo
10. Horno capaz de mantener una temperatura de (110) °C.
11. Recipientes para contenido de humedad

• **PROCEDIMIENTO**

**La relación de soporte del óptimo contenido de agua**

1. De una muestra que tenga un peso de 35 kg (75 lb) o más, seleccione una porción representativa de una masa aproximada de 11kg (25 lb) para una prueba de humedad - densidad y divida el resto de la muestra para obtener tres porciones representativas que tengan una masa de 6.8kg (15 lb) cada una.
2. Determine la humedad óptima y la densidad seca máxima por medio del ensayo (AASHTO T -180).
3. Determine la humedad natural como lo establece la norma AASHTO T-265. Añada agua necesaria para llegar a la humedad óptima.
4. Compactar tres especímenes, para que sus densidades compactadas vayan desde 95 % o más baja a 100 % ó más alta de la densidad seca máxima determinada.
5. Empalme el molde a la base del plato y pese.
6. Inserte el disco espaciador dentro del molde y coloque un papel filtro en la parte superior del disco.
7. Mezcle cada una de las tres porciones de 6.8 kg (15 lb) ya preparadas con suficiente agua para obtener el contenido de humedad óptimo. Se obtiene el contenido de humedad óptimo por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Agua Añadida} = \frac{H-h}{100+h} \times 100$$

**Dónde:**

H = Humedad prefijada

h= Humedad natural

8. Compacte en cinco capas iguales si la densidad máxima fue determinada por la norma AASHTO T180.
9. Compactando cada capa con 65, 30 y 10 (AASHTO) o con 56, 25 Y 10 (ASTM).
10. Determinar el contenido de humedad del material compactado, al inicio y fin de la compactación (dos muestras). La determinación del contenido de humedad será de acuerdo con la norma AASHTO T 265.
11. Quitar el collar y usando un enrazador recorte el suelo compactado en la parte superior del molde.
12. Las irregularidades de la superficie deben ser rellenados con material más pequeño.
13. Quitar el disco espaciador, colocar un papel filtro en el plato base perforado e invierta el molde Sujete el plato base perforado al molde y coloque el collar.
14. Determine la masa del molde y el espécimen con una aproximación de 5 gr ó 0.01 lb.
15. Compacte las otras dos porciones de 6.8 kg ó 15 lb. Siguiendo el procedimiento descrito anteriormente, excepto por el número intermedio de golpes por capa que debe ser usado para compactar el segundo espécimen y el número más alto de golpes por capa que debe ser usado para compactar el tercer espécimen.

#### **Remojo o saturación**

1. Colocar sobre la superficie de la muestra en el molde la placa perforada con vástago y sobre ésta los pesos anulares suficientes para originar una sobrecarga equivalente a la originada por las capas de materiales que van sobre el material que se está probando.
2. Colocar el trípode con el dial encima del molde y haga una lectura inicial.
3. Sumerja al molde en agua.

4. Durante el remojo, mantener el nivel de agua 1 pulg sobre la parte superior del espécimen. Registre lecturas cada 24 horas por un periodo de 96 horas (4 días), se toman y se registran lecturas en el dial.
5. Al final de las 96 horas, haga una lectura del dial final en los especímenes empapados
6. Calcule la hinchazón como un porcentaje de la longitud de la muestra inicial con la siguiente expresión:

$$\text{Aumento \%} = \frac{\text{Cambio de Longitud(mm)}_{\text{durante remojo}}}{127} \times 100$$

### **Drenaje**

1. Después de saturada la muestra durante los 4 días, quitar los moldes cuidadosamente del tanque de remojo, vierta el agua retenida en la parte superior del mismo y se deja escurrir el molde durante 15 minutos.
2. Retire los pesos de la sobrecarga y plato.
3. Registre el peso del molde más suelo después de la saturación (96 horas o 4 días).

### **Prueba de Penetración**

1. Aplicar una sobrecarga de pesas anular y cortada, igual a las usadas durante el remojo.
2. Coloque el pistón de penetración, aplique una carga de 44N (10 lb).
3. Poner ambos diales el de penetración y el de carga en cero.
4. Aplique la carga sobre el pistón de penetración, con una velocidad de penetración uniforme de 0.05 pulg/min. De acuerdo a la tabla siguiente.

## PENETRACION

Milímetros	Pulgadas
0.63	0.025
1.27	0.050
1.90	0.075
2.54	0.100
3.17	0.125
3.81	0.150
5.08	0.200
7.62	0.300
10.16	0.400
12.70	0.500

**Tabla 4-1 Penetración utilizada en el ensayo de CBR.**

**Fuente: ASTM D 1883**

### CÁLCULOS

#### Curva de deformaciones

Trazar la curva de deformaciones (resistencia a la penetración vs profundidad de penetración) para cada espécimen. Si las curvas son semejantes a la del ensayo N° 1 no necesitan correcciones. Si las curvas son semejantes a las correspondientes a los de la curva N°2 y N°3, deberán ser corregidas trazando tangentes en la forma como se indica las gráficas.

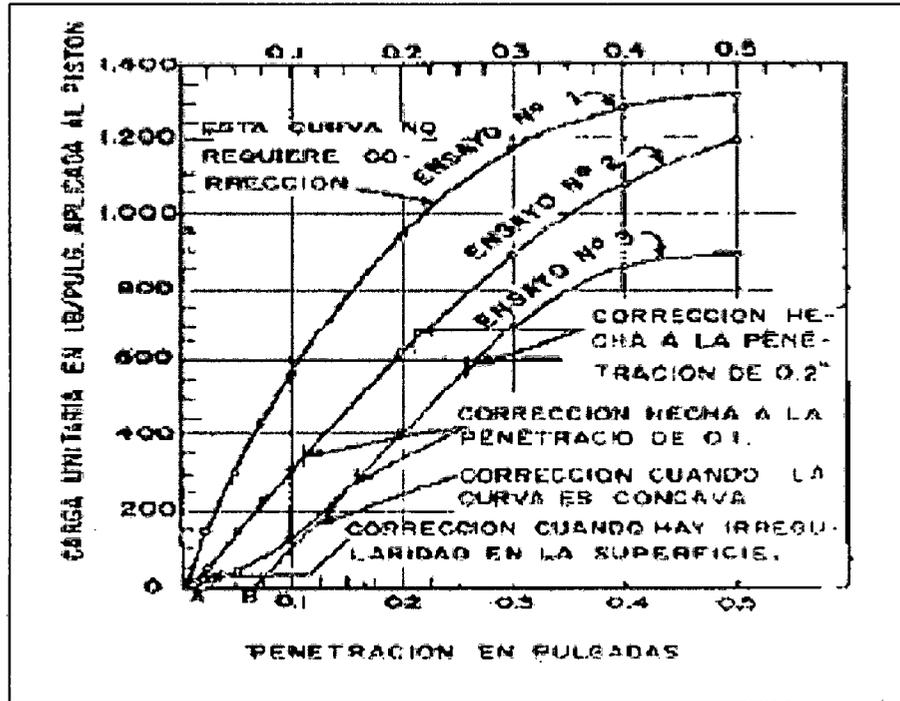


Figura 4-2 Ejemplos de curvas obtenidas en el ensayo de CBR.  
Cargas normales

Los valores de carga normal o carga unitaria patrón para 0.1" y 0.2" de penetración son los siguientes:

PENETRACION	Lb/Pie <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
0.1	1000	70
0.2	1500	105
0.3	1900	133
0.4	2300	161
0.5	2600	182

Tabla 4-2 Valores de Carga Normal

#### Relación de soporte de California (CBR)

Los valores de carga corregidos se determina para cada espécimen a 0.10 pulg y 0.20 pulg de penetración. El CBR es obtenido en porcentaje, dividiendo los valores de carga corregidos a 0.10 pulg y 0.20 pulg para las cargas normales de (1000 psi y 1500 psi) respectivamente y multiplicando estas por 100.

$$\text{Carga } 0.1'' = \frac{\text{Presión de Penetración para } 0.1''}{\text{Carga Unitaria Patrón para } 0.1'' \text{ de Penetración}} \times 100$$

$$\text{Carga } 0.2'' = \frac{\text{Presión de Penetración para } 0.2''}{\text{Carga Unitaria Patrón para } 0.2'' \text{ de Penetración}} \times 100$$

El CBR es generalmente seleccionado a 0.10pulg de penetración. Si la relación a 0.20 pulg de penetración es mayor a la penetración de 0.1 pulg la prueba será realizada otra vez. Si la prueba de chequeo da un resultado similar a la relación 0.20 pulg de penetración se usará esta.

### Diseño CBR para un solo contenido de agua

Usando los datos obtenidos de los tres especímenes, trace la gráfica CBR vs Densidad Seca. El diseño de CBR puede determinarse al porcentaje deseado de la densidad seca máxima.

Diseño CBR para el rango de contenido de agua.- Trace los datos de la prueba a los tres esfuerzos compactados.

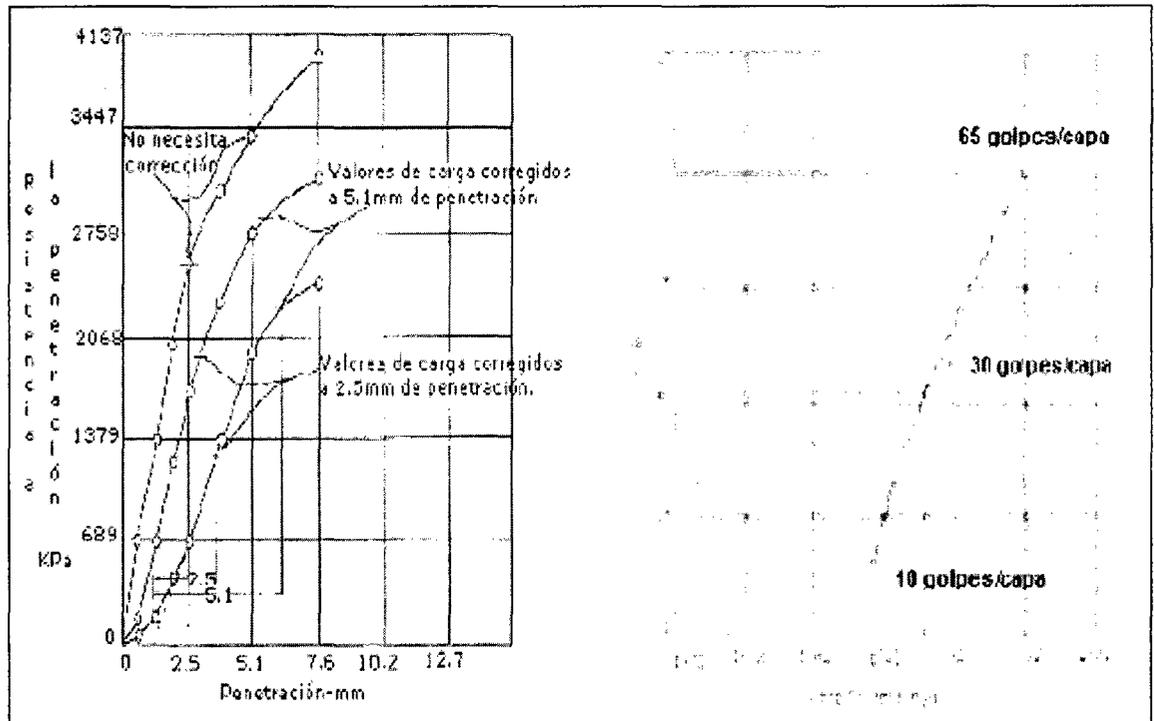


Figura 4-3 Ejemplos de Curvas CBR resistencia vs Penetración; y CBR vs densidad

• **RESULTADO**

Los resultados del Ensayo CBR de los materiales granulares, canteras Tres Tomas, El Cinco y la mezcla San Luis (60%) y Cachinche (40%) se encuentran en las siguientes tablas:00

• **Resultado del Ensayo CBR cantera Tres Tomas.-**

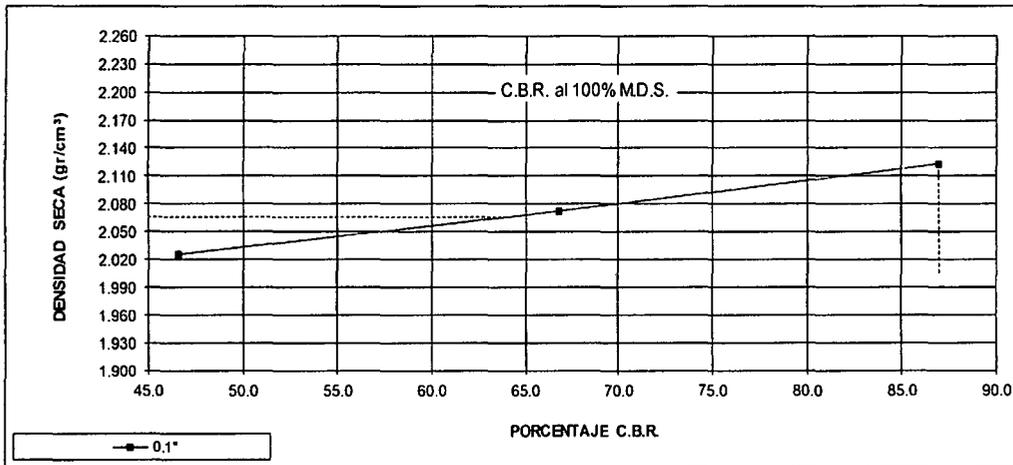
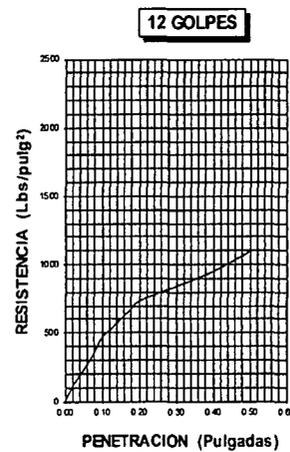
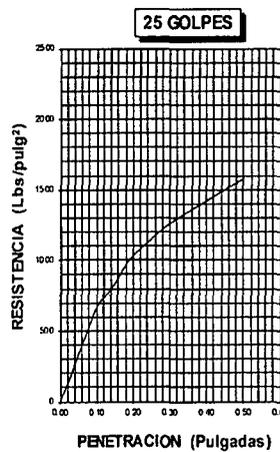
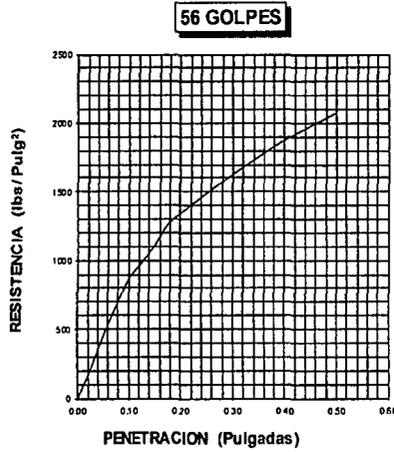
MATERIAL GRANULAR														
CANTERA		Tres Tomas												
CBR														
MOLDE N°			1		2		3							
N° DE CAPAS			5		5		5							
N° DE GOLPES POR CAPA			56		25		12							
CONDICION DE LA MUESTRA			SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA						
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	(g)		8965	9005	8845	8903	8775	8905						
PESO DEL MOLDE	(g)		4140	4140	4135	4135	4165	4165						
PESO DEL SUELO HUMEDO	(g)		4825	4865	4710	4768	4610	4740						
VOLUMEN DEL SUELO	(g)		2143	2143	2143	2143	2143	2143						
DENSIDAD HUMEDA	(g/cm <sup>3</sup> )		2.252	2.270	2.198	2.225	2.151	2.212						
CAPSULA N°			21	14	14	111	333	201						
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	(g)		121.00	109.20	114.21	96.32	95.90	98.12						
PESO CAPSULA + SUELO SECO	(g)		115.30	102.50	108.90	90.50	91.50	92.10						
PESO DE AGUA CONTENIDA	(g)		5.70	6.70	5.31	5.82	4.40	6.02						
PESO DE CAPSULA	(g)		21.45	20.45	20.95	21.01	20.35	21.03						
PESO DE SUELO SECO	(g)		93.85	82.05	87.95	69.49	71.15	71.07						
HUMEDAD	(%)		6.07%	8.17%	6.04%	8.38%	6.18%	8.47%						
DENSIDAD SECA			2.123	2.099	2.073	2.053	2.026	2.039						
EXPANSION														
MOLDE N°			15			10			16					
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION				
				mm.	%		mm.	%		mm.	%			
		0 hrs	hrs	3.254	-----	-----	5.162	-----	-----	3.452	-----	-----		
		24 hrs	hrs	3.325	0.071	0.061	5.250	0.088	0.076	3.550	0.098	0.084		
		48 hrs	hrs	3.370	0.116	0.100	5.290	0.128	0.110	3.595	0.143	0.123		
		72 hrs	hrs	3.400	0.146	0.126	5.325	0.163	0.140	3.635	0.183	0.157		
		96 hrs	hrs	3.420	0.166	0.143	5.340	0.178	0.153	3.655	0.203	0.175		
PENETRACION														
PENETRACION mm	CARGA		MOLDE N° 15				MOLDE N° 10				MOLDE N° 16			
	ESTÁNDAR	CARGA	CORECCION		CARGA	CORECCION		CARGA	CORECCION		CARGA	CORECCION		
	(lbs/pulg <sup>2</sup> )	Lectura	lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	Lectura	lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	Lectura	lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	
0.64		54.00	622.38	207.46		38.50	469.24	156.41		30.00	385.26	128.42		
1.27		127.00	1343.62	447.87		92.00	997.82	332.61		60.00	681.66	227.22		
1.91		192.00	1985.82	661.94		142.50	1496.76	498.92		92.50	1002.76	334.25		
2.54	1000	255.00	2608.26	869.42	86.94	194.00	2005.58	668.53	66.85	132.50	1397.96	465.99	46.60	
3.18		290.00	2954.06	984.69		218.00	2242.70	747.57		152.00	1590.62	530.21		
3.81		327.50	3324.56	1108.19		245.00	2509.46	836.49		173.50	1803.04	601.01		
4.45		373.00	3774.10	1258.03		278.50	2840.44	946.81		192.50	1990.76	663.59		
5.08	1500	398.50	4026.04	1342.01	89.47	304.00	3092.38	1030.79	68.72	213.50	2198.24	732.75	48.85	
7.62		485.00	4880.66	1626.89		373.00	3774.10	1258.03		247.00	2529.22	843.07		
10.16		561.00	5631.54	1877.18		422.50	4263.16	1421.05		280.00	2855.26	951.75		
12.7		621.50	6229.28	2076.43		470.50	4737.40	1579.13		322.50	3275.16	1091.72		

**MATERIAL GRANULAR**

CANTERA : Tres Tomas

DATOS DEL PROCTOR	
Humedad Optima (%)	6.00
Máxima Densidad Seca ( $gr/cm^3$ )	2.125
95% M. D. S.	2.066
Tipo de Suelo (AASHTO)	—

DATOS DEL C.B.R.	
C.B.R. al 100%: 0,1"	86.94
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	64.00



• Resultado del Ensayo CBR cantera El Cinco.-

MATERIAL GRANULAR	
CANTERA	: El Cinco

**CBR**

MOLDE N°			4	5	6			
N° DE CAPAS			5	5	5			
N° DE GOLPES POR CAPA			56	25	12			
CONDICION DE LA MUESTRA			SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	(g)		9017	8925	8825			
PESO DEL MOLDE	(g)		4215	4251	4312			
PESO DEL SUELO HUMEDO	(g)		4802	4674	4513			
VOLUMEN DEL SUELO	(g)		2143	2143	2143			
DENSIDAD HUMEDA	(g/cm <sup>3</sup> )		2.241	2.181	2.106			
CAPSULA N°			19	301	254			
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	(g)		99.12	87.13	90.45			
PESO CAPSULA + SUELO SECO	(g)		94.20	83.00	86.00			
PESO DE AGUA CONTENIDA	(g)		4.92	4.13	4.45			
PESO DE CAPSULA	(g)		21.12	21.30	20.74			
PESO DE SUELO SECO	(g)		73.08	61.70	65.26			
HUMEDAD	(%)		6.73%	6.69%	6.82%			
DENSIDAD SECA			2.100	2.044	1.972			

**EXPANSION**

MOLDE N°			4				5				6			
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION				
				mm.	%		mm.	%		mm.	%			
		0 hrs												
		24 hrs												
		48 hrs		NO EXPANSIVO										
		72 hrs												
		96 hrs												

**PENETRACION**

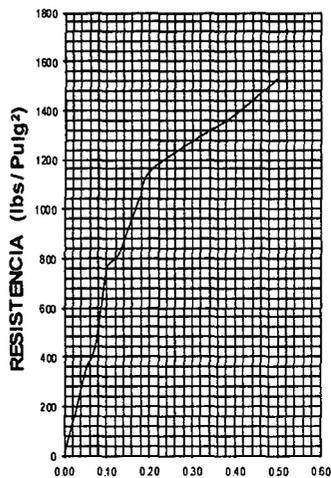
PENETRACION mm	CARGA		MOLDE N° 4				MOLDE N° 5				MOLDE N° 6			
	ESTÁNDAR (lbs/pulg <sup>2</sup> )	CARGA	CORECCION		CARGA	CORECCION		CARGA	CORECCION		CARGA	CORECCION		
			Lectura	lbs		lbs/pulg <sup>2</sup>	%		Lectura	lbs		lbs/pulg <sup>2</sup>	%	Lectura
0.64			40.00	484.06	161.35		32.00	405.02	135.01		21.50	301.28	100.43	
1.27			93.00	1007.70	335.90		65.00	731.06	243.69		43.00	513.70	171.23	
1.91			131.00	1383.14	461.05		104.50	1121.32	373.77		58.00	661.90	220.63	
2.54		1000	221.00	2272.34	757.45	75.75	165.00	1719.06	573.02	57.30	90.00	978.06	326.02	32.60
3.18			235.00	2410.66	803.55		184.00	1906.78	635.59		100.00	1076.86	358.95	
3.81			270.00	2756.46	918.82		205.00	2114.26	704.75		115.00	1225.06	408.35	
4.45			305.00	3102.26	1034.09		226.00	2321.74	773.91		130.00	1373.26	457.75	
5.08		1500	340.00	3448.06	1149.35	76.62	257.00	2628.02	876.01	58.40	145.00	1521.46	507.15	33.81
7.62			378.00	3823.50	1274.50		278.50	2840.44	946.81		184.00	1906.78	635.59	
10.16			411.00	4149.54	1383.18		295.00	3003.46	1001.15		207.00	2134.02	711.34	
12.7			456.00	4594.14	1531.38		310.00	3151.66	1050.55		221.00	2272.34	757.45	

**MATERIAL GRANULAR**

CANTERA: EL CINCO

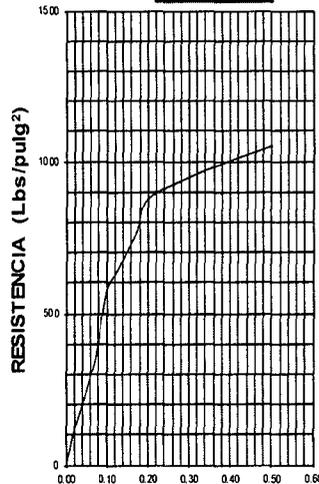
DATOS DEL PROCTOR		DATOS DEL C.B.R.	
Humedad Optima (%)	6.50	C.B.R. al 100%: 0,1"	75.75
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.100	C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	40.00
95% M. D. S.	1.995		
Tipo de Suelo (AASHTO)	-		

**56 GOLPES**



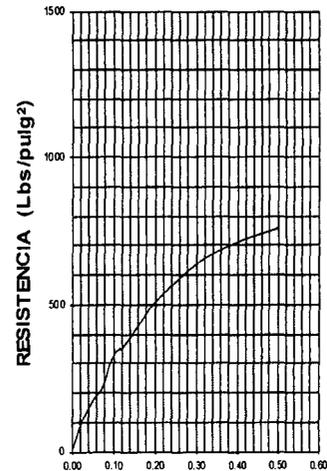
PENETRACION (Pulgadas)

**25 GOLPES**

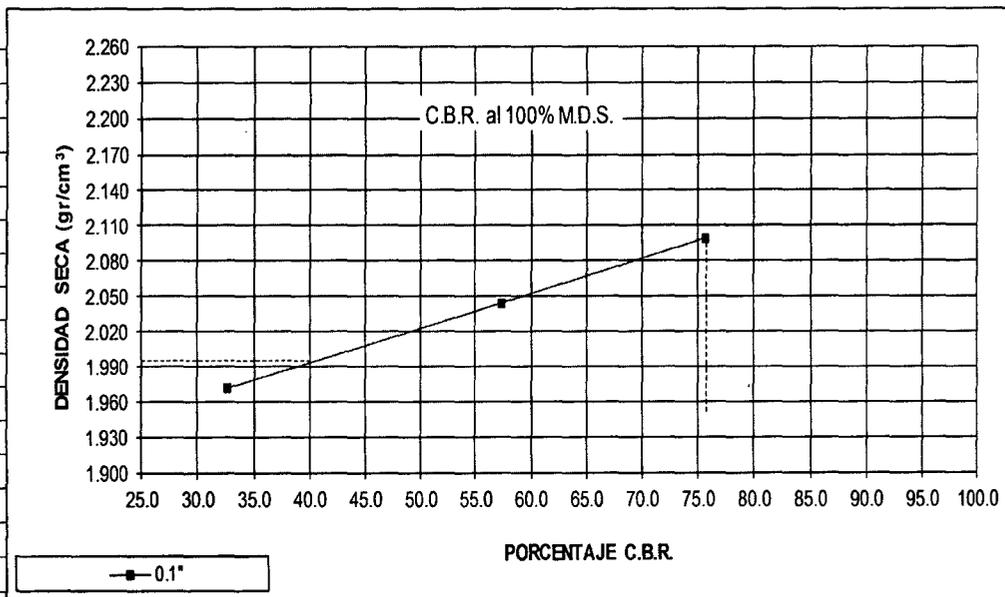


PENETRACION (Pulgadas)

**12 GOLPES**



PENETRACION (Pulgadas)



• Resultado del Ensayo CBR cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%).

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO							
(MTC E 132 - 2000, ASTM D 1883, AASHTO T 193)							
SOLICITANTE	Bach. Juan Carlos Vera Tello						
PROYECTO	Bases Tratadas con Emulsión Asfáltica y su Aplicación en Carreteras de Bajo Volumen de tránsito en el departamento de Lambayeque						
UBICACIÓN	Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque					CBR AL 100%:	0,1" = 68.83 %
FECHA	09 de Enero del 2015					CBR AL 95%:	0,1" = 31.80 %

MATERIAL GRANULAR	
CANTERA	San Luis (60%) + cachinche(40%)

**CBR**

MOLDE N°		1		2		3	
N° DE CAPAS		5		5		5	
N° DE GOLPES POR CAPA		56		25		12	
CONDICION DE LA MUESTRA		SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	(g)	9058	9098	8956	8997	8825	8861
PESO DEL MOLDE	(g)	4142	4142	4132	4132	4163	4163
PESO DEL SUELO HUMEDO	(g)	4916	4956	4824	4865	4662	4698
VOLUMEN DEL SUELO	(g)	2143	2143	2143	2143	2143	2143
DENSIDAD HUMEDA	(g/cm <sup>3</sup> )	2.294	2.313	2.251	2.270	2.175	2.192
CAPSULA N°		13	18	101	203	104	112
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	(g)	98.12	93.15	95.46	88.69	91.23	93.12
PESO CAPSULA + SUELO SECO	(g)	92.20	87.00	89.80	82.81	86.00	86.85
PESO DE AGUA CONTENIDA	(g)	5.92	6.15	5.66	5.88	5.23	6.27
PESO DE CAPSULA	(g)	20.45	21.12	21.36	20.45	21.54	20.95
PESO DE SUELO SECO	(g)	71.75	65.88	68.44	62.36	64.46	65.90
HUMEDAD	(%)	8.25%	9.34%	8.27%	9.43%	8.11%	9.51%
DENSIDAD SECA		2.119	2.115	2.079	2.074	2.012	2.002

**EXPANSION**

MOLDE N°			15				10				16			
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION				
				mm.	%		mm.	%		mm.	%			
		0 hrs	hrs	1.215	-----	-----	2.320	-----	-----	0.125	-----	-----		
		24 hrs	hrs	1.555	0.340	0.292	2.710	0.390	0.335	0.555	0.430	0.370		
		48 hrs	hrs	1.623	0.408	0.351	2.795	0.475	0.408	0.625	0.500	0.430		
		72 hrs	hrs	1.685	0.470	0.404	2.830	0.510	0.439	0.658	0.533	0.458		
		96 hrs	hrs	1.710	0.495	0.426	2.855	0.535	0.460	0.675	0.550	0.473		

**PENETRACION**

PENETRACION mm	CARGA		MOLDE N° 15				MOLDE N° 10				MOLDE N° 16			
	ESTÁNDAR	CARGA	CORECCION		CARGA	CORECCION		CARGA	CORECCION		CARGA	CORECCION		
	(lbs/pulg <sup>2</sup> )	Lectura	lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	Lectura	lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	Lectura	lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	
0.64		35.00	434.66	144.89		28.00	365.50	121.83		18.00	266.70	88.90		
1.27		85.00	928.66	309.55		58.00	661.90	220.63		38.00	464.30	154.77		
1.91		115.00	1225.06	408.35		95.00	1027.46	342.49		53.00	612.50	204.17		
2.54	1000	200.00	2064.86	688.29	68.83	132.00	1393.02	464.34	46.43	81.00	889.14	296.38	29.64	
3.18		224.00	2301.98	767.33		150.00	1570.86	523.62		98.00	1057.10	352.37		
3.81		253.00	2588.50	862.83		171.00	1778.34	592.78		111.00	1185.54	395.18		
4.45		275.00	2805.86	935.29		190.00	1966.06	655.35		123.00	1304.10	434.70		
5.08	1500	310.00	3151.66	1050.55	70.04	209.00	2153.78	717.93	47.86	130.00	1373.26	457.75	30.52	
7.62		365.00	3695.06	1231.69		230.00	2361.26	787.09		175.00	1817.86	605.95		
10.16		405.00	4090.26	1363.42		255.00	2608.26	869.42		201.00	2074.74	691.58		
12.7		435.00	4386.66	1462.22		264.00	2697.18	899.06		219.00	2252.58	750.86		

**MATERIAL GRANULAR**

CANTERA San Luis (60%) + cachinche(40%)

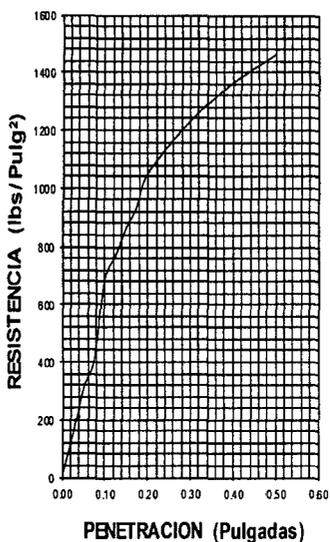
**DATOS DEL PROCTOR**

Humedad Optima (%)	6.20
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.125
95% M. D. S.	2.019
Tipo de Suelo (AASTHO)	—

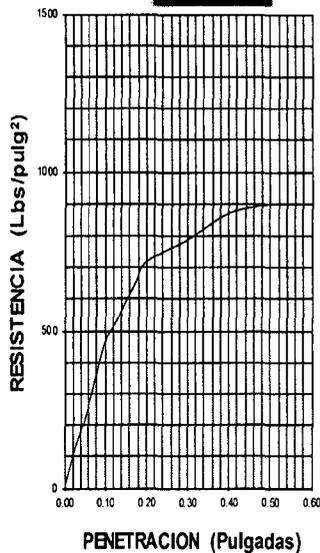
**DATOS DEL C.B.R.**

C.B.R. al 100%: 0,1"	68.83
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	31.80

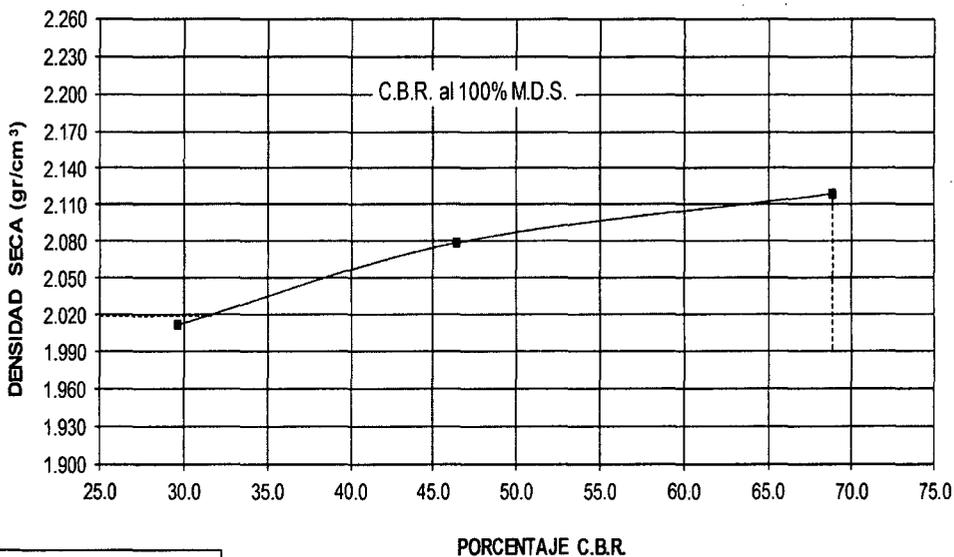
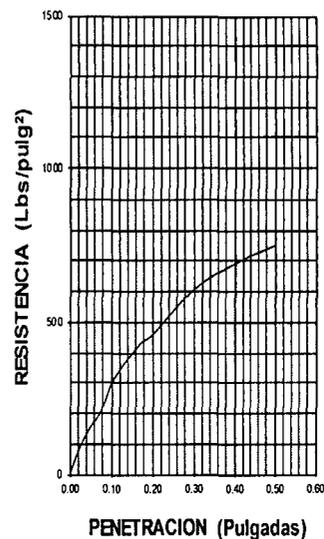
**56 GOLPES**



**25 GOLPES**



**12 GOLPES**



#### **4.1.6 Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2) (MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96, ASTM C 535).-**

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste y degradación en los procesos de producción, colocación y compactación de la construcción de pavimentación, y con mayor importancia durante la vida de servicio del pavimento.

La carga de la rueda ejerce una presión vertical considerada uniforme y alta en la superficie de rodadura distribuyéndola hasta que llegue mínimamente a la sub-rasante.

Por este motivo se exige que los agregados que estén más cerca de la superficie como los materiales de base y carpeta asfáltica, presenten mayor resistencia que los agregados usados en capas inferiores como la sub base, la razón se debe a que las capas superficiales reciben mayores esfuerzos y sufren mayor desgaste por parte de las cargas de tránsito.

La forma de transmisión de esfuerzos de los agregados es por medio de puntos de contacto donde se concentran altas presiones.

El Ensayo de Desgaste de Los Ángeles, ASTM C-131 ó AASHTO T-96 y ASTM C-535, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la abrasión. (MINAYA GONZALES & ORDÓÑEZ HUAMAN, 2001).

Con mucha frecuencia se utiliza como un indicador de la calidad relativa de los agregados o rocas trituradas al resultado de este ensayo. La medida de la degradación de los agregados se la obtiene mediante la acción combinada de roce e impacto.

El ensayo aplicado consiste básicamente en colocar una cantidad especificada de agregado dentro de un tambor cilíndrico de acero que está montado horizontalmente. Se añade una carga de esferas de acero y se le aplica un número determinado de revoluciones. El choque entre el agregado y las esferas da por resultado la abrasión y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado expresándolo como porcentaje inicial.

En el ensayo de resistencia a la abrasión se utiliza la Máquina de los Ángeles. Este es un aparato constituido por un tambor cilíndrico hueco de acero de 500 mm de longitud y 700 mm de diámetro aproximadamente, con su eje horizontal fijado a un dispositivo exterior que puede transmitirle un movimiento de rotación alrededor del eje. El tambor tiene una abertura para la introducción del material de ensayo y de la carga abrasiva; dicha abertura está provista de una tapa que debe reunir las siguientes condiciones:

Asegurar un cierre hermético que impida la pérdida del material y del polvo.

Tener la forma de la pared interna del tambor, excepto en el caso de que por la disposición de la pestaña que se menciona más abajo, se tenga certeza de que el material no puede tener contacto con la tapa durante el ensayo.

Tener un dispositivo de sujeción que asegure al mismo tiempo la fijación rígida de la tapa al tambor y su remoción fácil.

El tambor tiene fijada interiormente y a lo largo de una generatriz, una pestaña o saliente de acero que se proyecta radialmente, con un largo de 90 mm aproximadamente. Esta pestaña debe estar montada mediante pernos u otros medios que aseguren su firmeza y rigidez. La posición de la pestaña debe ser tal que la distancia de la misma hasta

la abertura, medida sobre la pared del cilindro en dirección de la rotación, no sea menor de 1250 mm. La pestaña debe remplazarse con un perfil de hierro en ángulo fijado interiormente a la tapa de la boca de entrada, en cuyo caso el sentido de la rotación debe ser tal que la carga sea arrastrada por la cara exterior del ángulo.

Una carga abrasiva consiste en esfera de fundición o de acero de unos 48 mm de diámetro y entre 390 y 445 gramos de masa, cuya cantidad depende del material que se ensaya, tal como se indica en la siguiente tabla.

METODO		A	B	C	
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)			
Pasa el Tamiz	Retenido en Tamiz				
1 ½"	1"	1 250±25			
1"	¾"	1 250±25			
¾"	½"	1 250±10	2 500±10		
½"	3/8"	1 250±10	2 500±10		
3/8"	¼"			2 500±10	
¼"	Nº4			2 500±10	
Nº4	Nº8				5 000±10
PESO TOTAL		5 000±10	5 000±10	5 000±10	5 000±10
Nº de Esferas		12	11	8	6
Nº de Revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación		15	15	15	15

**Tabla 4-3 Peso de agregado y Número de Esferas para agregados gruesos hasta de 1 ½"**

**Fuente: Ensayo de Abrasión (MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96, ASTM C 535)**

- **OBJETIVO**

Determinar el porcentaje de desgaste de los agregados gruesos, por medio de la máquina de los Ángeles.

- **EQUIPO**

1. Máquina de desgaste de Los Ángeles

2. Tamices. De los siguientes tamaños: 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", ¼", N°4, N°8. Un tamiz N°12 para el cálculo del desgaste
3. Esferas de acero. De 46.38 a 47.63 mm de diámetro de peso equivalente entre 390 a 445 gr.
4. Horno. Capaz de mantener una temperatura de 110±5 °C
5. Balanza. Sensibilidad de 1.0 gr.

### **MATERIAL Y CARGA ABRASIVA A UTILIZAR**

La cantidad de material a ensayar y el número de esferas a incluir dependen de la granulometría del agregado grueso. Se utilizara la anterior tabla propuesta por **MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96, ASTM C 535**

#### **• PROCEDIMIENTO**

1. El material deberá ser lavado y secado en horno a una temperatura constante de 105 -110 °C, tamizadas según las mallas que se indican y mezcladas en las cantidades del método al que correspondan.
2. Pesar la muestra con precisión de 5 gr. para agregados gruesos de tamaños mayores a 3/4".
3. Introducir la muestra junto con la carga abrasiva en la máquina de Los Ángeles, cerrar la abertura del cilindro con su tapa. Accionar la máquina, regulándose el número de revoluciones adecuado según el método.
4. Finalizado el tiempo de rotación, se saca el agregado y se tamiza por la malla N°12.
5. El material retenido en el tamiz N°12 se lava y seca en horno, a una temperatura constante entre 105° a 110°C pesar la muestra con precisión del gr.

#### **• CÁLCULOS**

El resultado del ensayo se expresa en porcentaje de desgaste, calculándose como la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra de ensayo con respecto al peso inicial.

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{\text{Pinicial} - \text{Pfinal}}{\text{Pinicial}} \times 100$$

• **RESULTADOS**

Los resultados del ensayo de abrasión de las canteras Tres Tomas, El Cinco y la mezcla San Luis (60%) y Cachinche (40%) se encuentran en la siguiente tabla.

• **Resultado del Ensayo Abrasión Los Ángeles, cantera Tres Tomas.-**

DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Material Granular</b>					
<b>Cantera :</b> Tres Tomas					
PASA RETIENE	PESO DE MUESTRA ANTES DEL ENSAYO (gr)	PESO DE MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	PERDIDA DE MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	% DE ABRASION	
1 1/2" 1"	1250	1105	145	11.6	
1" 3/4"	1250	1095	155	12.4	
3/4" 1/2"	1250	1075	175	14.0	
1/2" 3/8"	1250	1060	190	15.2	
<b>% DE ABRASION</b>				13.3	

• **Resultado del Ensayo Abrasión Los Ángeles, cantera El Cinco.-**

DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Material Granular</b>					
<b>Cantera :</b> El Cinco					
PASA RETIENE	PESO DE MUESTRA ANTES DEL ENSAYO (gr)	PESO DE MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	PERDIDA DE MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	% DE ABRASION	
1 1/2" 1"	1250	1085	165	13.2	
1" 3/4"	1250	1075	175	14	
3/4" 1/2"	1250	1060	190	15.2	
1/2" 3/8"	1250	1052	198	15.84	
<b>% DE ABRASION</b>				14.6	

- **Resultado del Ensayo Abrasión Los Ángeles, cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%).-**

DATOS DE LA MUESTRA	
<b>Material Granular</b>	
<b>Cantera :</b> San luis (60%) + Cachinche(40%)	

PASA RETIENE	PESO DE MUESTRA ANTES DEL ENSAYO (gr)	PESO DE MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	PERDIDA DE MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	% DE ABRASION
1 1/2" 1"	1250	1033	217	17.36
1" 3/4"	1250	1015	235	18.8
3/4" 1/2"	1250	1005	245	19.6
1/2" 3/8"	1250	993	257	20.56
<b>% DE ABRASION</b>				<b>19.1</b>

- **EMULSIÓN ASFÁLTICA**

La emulsión Asfáltica utilizada para la estabilización de bases es la Emulsión Catiónica CSS-1h

Productor: CAH contratistas generales S.A.

Certificado de Ensayo: Se adjuntan en la siguiente tabla (Para el diseño se adoptará porcentajes de constitución de la emulsión 60% de Cemento Asfáltico y 40% de Agua).



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

44 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACION, ASFALTOS EMULSIONADOS, MODIFICADOS CON POLIMEROS Y OBRAS EN GENERAL

### CONTROL DE CALIDAD DE EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS

#### Emulsión Asfáltica Cationica de Rotura Lenta CSS-1H

DATOS GENERALES	
CLIENTE : PAVIMENTOS Y OBRAS VIALES SAC	FECHA DE FABRICACION : 19-03-15 FECHA DE EMBARQUE : 23-04-15 LOTE N° : EM006-03-15

PRUEBAS A LA EMULSION				
Ensayos	Unidad	Resultado	Especificación NTP 321.059 / EG-2013	Método De Referencia
1. Viscosidad Saybol de Emulsiones Asfálticas 25°C	seg	22	20 Min	ASTM D 88 MTC E-403 00
2. Tamizado de las Emulsiones Asfálticas	%	0 01	0 1 Max	ASTM D 6933 MTC E-405 00
3.- Carga de Particula de las emulsiones asfálticas	(+)	(+)	Positivo	ASTM D 7402 MTC E-407 00
4. Estabilidad al almacenamiento (24h)	%	0 2	1 0 Max	ASTM D 6930-04
5. Residuo por Destilacion	%	60	57 0 Min	ASTM D 244 MTC E-401 00

PRUEBAS AL RESIDUO POR DESTILACION				
Ensayos	Unidad	Resultado	Especificación NTP 321.059 / EG-2013	Método De Referencia
1 Penetración de los Materiales Asfálticos. 25°C	0.1mm	65	40-90	ASTM D 5 MTC E-304 00
2. Ductilidad de los Materiales Bituminosos. 5°C 5cm/min	cm	100	40 min	ASTM D 113 MTC E-306.00
3. Solubilidad en Tricloroetileno,%	%	98	97 5 min	ASTM D 2042 MTC E 302

\* Especificacion de emulsiones cationicas. EG-2013 tabla 415-04

#### OBSERVACIONES:

- \* para largos periodos de almacenamiento se recomienda recircula la emulsion por lo menos una vez a la semana.
- \* La solucion jabonosa se diseño con un valor de pH = 1.90
- \* el peso especifico de la emulsion es 1.003

EDICION : Enero 2015, Version 01  
 HECHO POR : Tec M. C. D.  
 REVISADO POR : Ing M. V. B  
 SUPERVISADO : Ing I. C. R  
 FECHA DE ENSAYO : 20-03-15

**CAH** CONTRATISTAS GENERALES S.A.  
 ING. MARIA S. VERGARA BARRAZUELA  
 INGENIERA DE LABORATORIO DE ENSAYOS  
 DE ASFALTOS Y EMULSIONES ASFALTICAS

Planta de Emulsiones Asfálticas y Asfaltos Modificados con Polimeros  
 Callao: Calle 4-5. Urb. Grimaenza Mz C, Lt 5 ----Telfs: 5722457-- 572-3447-- 717-7388 Anexo Lab. 108-106 Nextel: 401\*6906

Av. República de Colombia 671 Of. 603 (Ex Av. Central) - San Isidro - Lima - Perú Telfs: 4406239 - 4417577 - 4400064 - 4220440 - 4225321  
 CENTRAL TELEFÓNICA DIGITAL: 204-5100 Fax: Anexo (150)  
 E-mail: camohesa@terra.com.pe • www.camohesa.com

**Figura 4-4 Certificado Emulsión CSS-1h**  
**Fuente: CAH contratistas generales S.A.; Laboratorio de Ensayo. (2015)**

## 4.2 DISEÑO MARSHALL MODIFICADO PARA MEZCLAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.

### 4.2.1 OBJETIVO

El objetivo de la realización del diseño utilizando el Método Marshall es determinar la cantidad óptima de Asfalto, expresada en porcentaje de Emulsión, como se trata de bases asfálticas, el óptimo es la cantidad mínima de emulsión que puede estabilizar a los agregados para que se cumplan las normativas de diseño.

Para conseguir este objetivo se sigue los procedimientos descritos para el Método Marshall con las respectivas variaciones, porque este método fue originalmente propuesto para mezclas asfálticas en caliente, sin embargo es muy utilizado por el gran conocimiento general del método y que los equipos necesarios se los puede encontrar en casi cualquier lugar.

### 4.2.2 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TENTATIVO DE EMULSIÓN

Como se expuso en la teoría previa, existen varios métodos para determinar el contenido tentativo de emulsión; pero son más utilizados para el diseño de carpeta asfáltica.

Para una aplicación correcta de lo que se desea buscar; se utiliza la fórmula propuesta por Instituto del Asfalto, para la estabilización de bases con emulsión que es la siguiente:

$$\% \text{ Emulsión} = \frac{[(0.06 \times B) + (0.01 \times C)]}{A} \times 100$$

**Dónde:**

% Emulsión = Porcentaje inicial estimado de emulsión asfáltica, expresado en función del peso seco del agregado

A= Porcentaje de Asfalto Residual de la Emulsión

B =Porcentaje de agregado seco que pasa el tamiz N° 4 (4.75 mm)

C = 100 - B = Porcentaje de agregado seco retenido en el tamiz N°4 (4.75 mm)

De la granulometría obtenemos:

- **Determinación del Contenido Tentativo de Emulsión, cantera Tres Tomas.**

$$A = 60 \%$$

$$B = 57.30 \%$$

$$C = 100 - 57.30 = 42.70 \%$$

Entonces:

$$\% \text{ Emulsión} = \frac{[(0.06 \times 57.30) + (0.01 \times 42.70)]}{60} \times$$

$$100\%$$

$$\% \text{ Emulsión} = 6.44 \%$$

- **Determinación del Contenido Tentativo de Emulsión, cantera El Cinco.**

$$A = 60\%$$

$$B = 53.97 \%$$

$$C = 100 - 53.97 = 46.03 \%$$

Entonces:

$$\% \text{ Emulsión} = \frac{[(0.06 \times 53.97) + (0.01 \times 46.03)]}{60} \times$$

$$100\%$$

$$\% \text{ Emulsión} = 6.16 \%$$

- **Determinación del Contenido Tentativo de Emulsión, cantera San Luis (60%) + Cachinche (40%).**

$$A = 60 \%$$

$$B = 51.06 \%$$

$$C = 100 - 51.06 = 48.94 \%$$

Entonces:

$$\% \text{ Emulsión} = \frac{[(0.06 \times 51.06) + (0.01 \times 48.94)]}{60} \times$$

$$100\%$$

$$\% \text{ Emulsión} = 5.92 \%$$

Los contenidos tentativos de emulsión adoptados serán de 6.44%, 6.16% y 5.92% respectivamente para cada cantera.

#### **4.2.3 CUBRIMIENTO DE LOS AGREGADOS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS, (MTC E 412 – 2000, ASTM D 244, AASHTO T 59).-**

Este ensayo se realizó usando el contenido tentativo de emulsión y por experiencia en muchos países se utilizan intervalos de agua de pre mezcla relacionados a valores obtenidos en el ensayo PRÓCTOR MODIFICADO; estos valores de humedad óptima son 6.00% para la cantera Tres Tomas, 6.50% para la cantera El Cinco, y 6.20% para la cantera San Luis (60%) + Cachinche (40%).

Se toma en cuenta que la emulsión contiene 40 % de agua en su estructura. Un parámetro importante es la trabajabilidad que permite el correcto mezclado y garantiza el mejor recubrimiento, para diferentes contenidos de agua.

- **OBJETIVO**

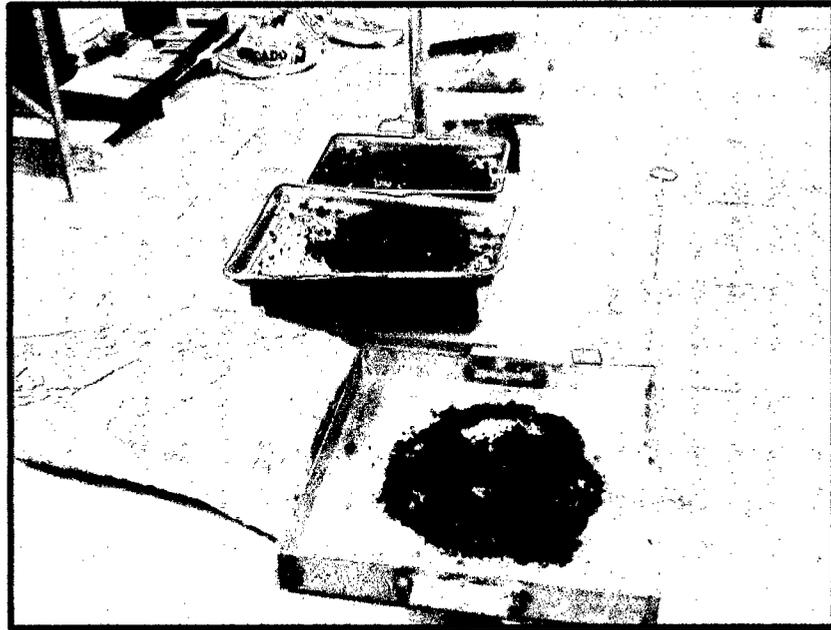
Determinar el porcentaje de agua que permita un recubrimiento mínimo óptimo de las bases estabilizadas con emulsión asfáltica.

- **EQUIPO**

1. Balanza, con suficiente capacidad para soportar el peso de la muestra y sensible a 0.5 gr.
2. Horno capaz de mantener la temperatura a 110 °C
3. Espátula de acero
4. Envase adecuado para mezcla

- **PROCEDIMIENTO**

1. Separamos cantidades suficientes de agregados fino y grueso para cada mezcla, buscando la mejor representatividad utilizando el procedimiento de cuarteo.
2. Secamos el material por un período de 24 horas en el horno a una temperatura de 110 °C hasta obtener un peso constante.
3. Se saca del horno se espera que enfrié, a temperatura ambiente pero intentando que no gane humedad, se guardara en fundas para evitar la ganancia de humedad y para utilizar estos agregados preparados en otros ensayos, si no se realiza este procedimiento se deberá calcular el peso seco de los agregados con corrección por humedad
4. Se pesa el equivalente de 500 gramos de agregado seco, formando la mezcla en los porcentajes establecidos.



**Fotografía 4-2 Pesaje de Agregados para Ensayo de Recubrimiento.**

5. Separamos el agua de pre mezclado y mezcle manualmente durante 10 segundos o hasta que tenga apariencia de dispersión uniforme.
6. Pese el contenido de emulsión asfáltica a la temperatura de uso prevista y adicione al agregado húmedo; mezcle manualmente en forma vigorosa durante 60 segundos utilizando mezclador, en este caso particular se realizó la mezcla de forma manual, el tiempo de mezclado para esta forma es de 1 a 3 minutos, hasta que ha tenido lugar una dispersión suficiente en la totalidad de la mezcla
7. Coloque la mezcla sobre una superficie plana y estime visualmente el grado de recubrimiento. Visualmente se valoran las diferentes mezclas después de media hora y presta atención al cambio de color de las mezclas al pasar de un color marrón a negro, cuando ocurra esto significa que se ha dado el rompimiento de la emulsión, entonces se ve mejor



**Fotografía 4-3 Determinación del Recubrimiento**

● **CALCULOS**

● **Cantera Tres Tomas.**

Peso del Material Seco	= 500 gr
Porcentaje Tentativo de Emulsión	= 6.44 %
Cantidad de Emulsión	= 32.20 gr
Cantidad de Agua en la Emulsión	= 12.88 gr
Porcentaje de Humedad Optima	= 6.00 %
Cantidad de Agua para 500 gr	= 30.00 gr
Agua Faltante	= 17.12 gr

Porcentaje de Humedad %	Peso de Agregado seco gr	Porcentaje Tentativo de Emulsion gr	Peso de la Emulsion gr	Agua en la Emulsion gr	Humedad Necesaria gr	Agua Faltante gr	Cubrimiento despues de 1/2 hora
4.50	500	6.44	32.20	12.88	22.50	9.62	No Aceptable
5.00	500	6.44	32.20	12.88	25.00	12.12	Aceptable
5.50	500	6.44	32.20	12.88	27.50	14.62	Aceptable
6.00	500	6.44	32.20	12.88	30.00	17.12	Aceptable

**Tabla 4-4 Cantidades para Ensayo de Recubrimiento Cantera Tres Tomas**

● **Cantera El Cinco.**

Peso del Material Seco	= 500 gr
Porcentaje Tentativo de Emulsión	= 6.16 %
Cantidad de Emulsión	= 30.80 gr
Cantidad de Agua en la Emulsión	= 12.32 gr

- **Cantera El Cinco.**

Peso del Material Seco	= 500 gr
Porcentaje Tentativo de Emulsión	= 6.16 %
Cantidad de Emulsión	= 30.80 gr
Cantidad de Agua en la Emulsión	= 12.32 gr
Porcentaje de Humedad Optima	= 6.50 %
Cantidad de Agua para 500 gr	= 32.50 gr
Agua Faltante	= 20.18 gr

Porcentaje de Humedad %	Peso de Agregado seco gr	Porcentaje Tentativo de Emulsion gr	Peso de la Emulsion gr	Agua en la Emulsion gr	Humedad Necesaria gr	Agua Faltante gr	Cubrimiento despues de 1/2 hora
5.50	500	6.16	30.80	12.32	27.50	15.18	No Aceptable
6.00	500	6.16	30.80	12.32	30.00	17.68	Aceptable
6.50	500	6.16	30.80	12.32	32.50	20.18	Aceptable

**Tabla 4-5 Cantidades para Ensayo de Recubrimiento Cantera El Cinco**

- **Cantera: San Luis (60%) + Cachinche (40%).**

Peso del Material Seco	= 500 gr
Porcentaje Tentativo de Emulsión	= 5.92 %
Cantidad de Emulsión	= 29.60 gr
Cantidad de Agua en la Emulsión	= 11.84 gr
Porcentaje de Humedad Optima	= 6.20 %
Cantidad de Agua para 500 gr	= 31.00 gr
Agua Faltante	= 19.16 gr

Se hizo el ensayo de recubrimiento para valores inferiores.

Porcentaje de Humedad %	Peso de Agregado seco gr	Porcentaje Tentativo de Emulsion gr	Peso de la Emulsion gr	Agua en la Emulsion gr	Humedad Necesaria gr	Agua Faltante gr	Cubrimiento despues de 1/2 hora
5.00	500	6.44	32.20	12.88	25.00	12.12	No Aceptable
5.50	500	6.44	32.20	12.88	27.50	14.62	Aceptable
6.00	500	6.44	32.20	12.88	30.00	17.12	Aceptable

**Tabla 4-6 Cantidades para Ensayo de Recubrimiento Cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%)**

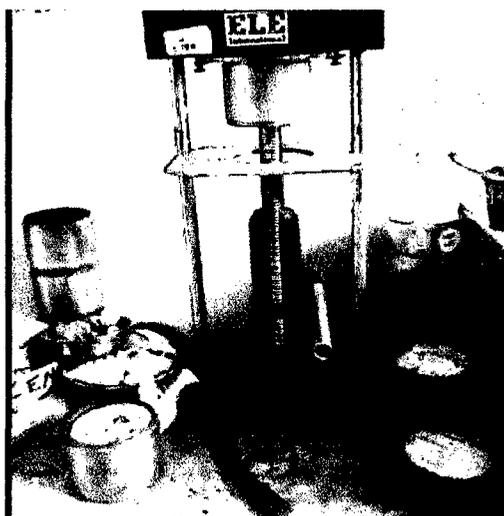
#### **4.2.4 FABRICACIÓN DE BRIQUETAS.-**

- **MATERIAL Y EQUIPO.**

1. Material Granular de cada cantera (1200 gr) para cada briqueta.
2. Emulsión CSS – 1H (Proveedor CAH contratistas generales S.A.)
3. Disco de papel parafinado
4. Balanza de precisión de 0.1 gr.
5. Equipo misceláneo. (Brochas para limpieza, cepillo, espátulas de 4", charolas de lámina galvanizada, palas manuales, cucharas y cuchilla)
6. Pipeta plástica
7. Moldes para briquetas
8. Martillo mecánico Marshall
9. Equipo para desmoldar briquetas Marshall



**Fotografía 4-4 Equipos Utilizados en la Compactación de Briquetas por el Método Marshall**



**Fotografía 4-5 Equipos Utilizados en la extracción de Briquetas por el Método Marshall**

- **PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO.**

El Instituto del Asfalto en su publicación Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS N° 19S, sugiere la realización de 3 puntos mínimo para la determinación del porcentaje óptimo de la emulsión.

En cada punto se elaboraron 6 briquetas, la mitad para realizar la estabilidad seca y las otras 3 para estabilidad saturada.

En total se realizó 18 briquetas para cada cantera.

Las cantidades empleadas para realizar las mezclas fueron las siguientes:

Porcentaje de Humedad			Peso de Material Granular Seco gr	Porcentaje Tentativo de Emulsion %	Peso de la emulsion gr	Agua en la Emulsion gr	Humedad Necesaria gr	Agua Faltante gr	Peso de Mezcla gr
%	%	%							
5	0.946	4.054	1120	5	56	22	45	23	1199
5	0.946	4.054	1120	6	67	27	45	19	1206
5	0.946	4.054	1120	7	78	31	45	14	1212

**Tabla 4-7 Cantidades para Fabricación de Briquetas Cantera Tres Tomas**

Porcentaje de Humedad			Peso de Material Granular Seco gr	Porcentaje Tentativo de Emulsion %	Peso de la emulsion gr	Agua en la Emulsion gr	Humedad Necesaria gr	Agua Faltante gr	Peso de Mezcla gr
%	%	%							
6	0.84	5.16	1120	5	56	22	58	35	1211
6	0.84	5.16	1120	6	67	27	58	31	1218
6	0.84	5.16	1120	7	78	31	58	26	1225

**Tabla 4-8 Cantidades para Fabricación de Briquetas para la Cantera El Cinco.**

Porcentaje de Humedad			Peso de Material Granular Seco gr	Porcentaje Tentativo de Emulsion %	Peso de la emulsion gr	Agua en la Emulsion gr	Humedad Necesaria gr	Agua Faltante gr	Peso de Mezcla gr
%	%	%							
6	1.61	4.39	1150	5	58	23	50	27	1235
6	1.61	4.39	1150	6	69	28	50	23	1242
6	1.61	4.39	1150	7	81	32	50	18	1249

**Tabla 4-9 Cantidades para Fabricación de Briquetas para la Cantera San Luis (60%) + Cachinche (40%).**

**El procedimiento es el siguiente:**

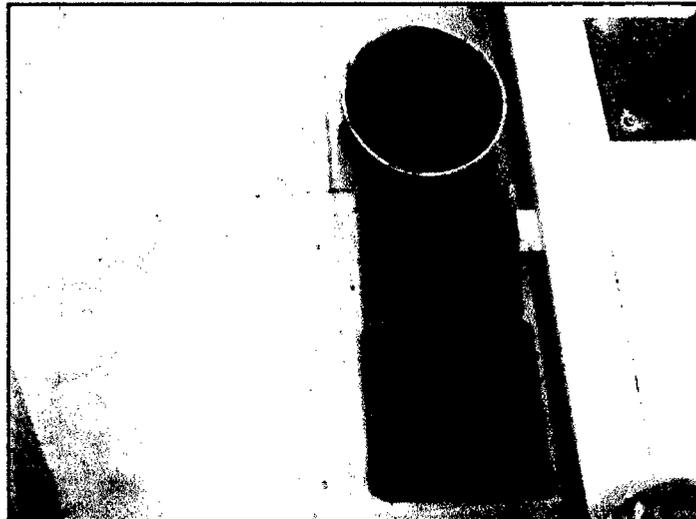
1. Pese en envases adecuados las cantidades de agregados necesarios en peso seco, si los agregados están húmedos sus cantidades corregidas a peso seco, se busca obtener briquetas compactadas cuyas alturas sean similares a 63.5 mm (2.5 pulgadas)
2. Debe ponerse cuidado en que los agregados para cada briqueta sean representativos de los agregados del proyecto.
3. Los agregados secos se los cubrirá para prevenir la ganancia de humedad.
4. Colocar la arena y ripio en una charola, y mezclar uniformemente.
5. Si se necesita agua de pre-mezclado, pese, agregándola a los agregados, la cantidad predeterminada que se estableció en el ensayo de recubrimiento y mezcle durante 10 segundos o hasta que la humedad esta uniformemente distribuida. Para la adición del agua nos valemos de la pipeta donde medimos el peso del agua en volumen.
6. Esto debe realizarse antes de la adición y mezclado de la emulsión.
7. Pese la cantidad calculada de emulsión y colóquela sobre los agregados a temperatura ambiente y agite vigorosamente durante 1 a 3 minutos en nuestro

caso fue 90 segundos, una medida visual de la adecuada mezcla es que la emulsión se haya dispersado lo suficientemente.

8. Esperar a que la mezcla pierda humedad y cambie de color que indica el rompimiento de la emulsión, todo esto se realiza a temperatura ambiente, finalidad de este procedimiento es mejorar la compactación



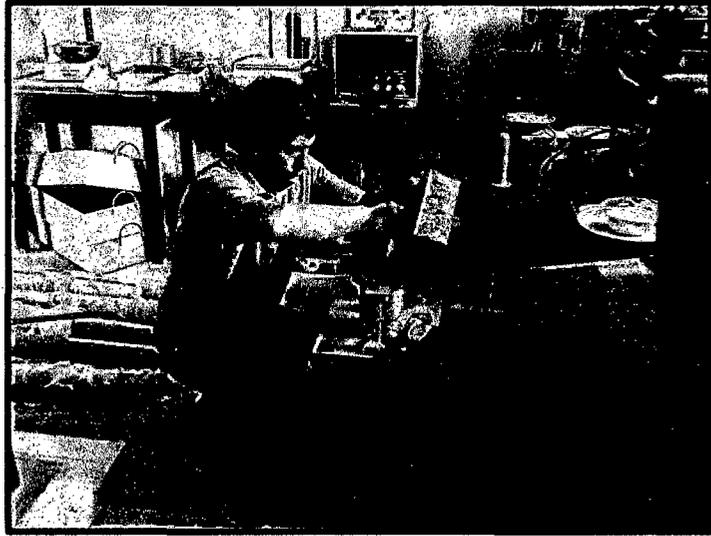
**Fotografía 4-6 Colocación de la Emulsión sobre los Materiales Granulares.**



**Fotografía 4-7 Mezcla del Material Granular con Emulsión Asfáltica después de Pérdida de Humedad y Rotura de Emulsión**

- **PROCEDIMIENTO DE COMPACTACIÓN**

1. Colocar en el molde y el collar sobre la base del pedestal que forma parte del equipo de compactación Marshall, en el interior poner disco de papel parafinado con las dimensiones del interior del molde, luego colocar la mezcla asfáltica.
2. Varillar la mezcla en el molde, dándole 15 punzadas en el perímetro y 10 en el centro, con la espátula, alise la superficie de la mezcla dándole una forma ligeramente redondeada, y colocar otro disco de papel parafinado.
3. Colocar el martillo Marshall con una caída libre de 457.2 mm (18.0 pulgadas) sobre el molde, para luego proceder a la compactación, procurando dar de forma constante el número de golpes según sea el diseño. En nuestra investigación el uso va a ser en una vía urbana, por este motivo se someterá a las briquetas a 75 golpes.
4. Terminada la compactación en la primera cara, invertimos el molde para golpear la cara que no estuvo expuesta.
5. Retire la base, el collar, los discos de papel (si fuera posible, si se compromete la briqueta conservarlo hasta que se pueda sacar sin dañar la superficie) y coloque el molde, con el espécimen compactado en su interior, sobre un estante perforado en el horno a 60 °C (140 F) durante 48 Horas (JIMÉNEZ ACUÑA, SIBAJA OBANDO, & MOLINA ZAMORA, 2008). Para algunas mezclas, puede ser necesario empujar espécimen hacia abajo nivelándolo con el fondo del molde, de mezcla que el estante de la estufa lo soporte durante el curado.
6. Pasado el tiempo de curado de las briquetas a la temperatura de 60 °C, se procede a sacarlas de los moldes, para esto se deja enfriar el espécimen en el molde durante una hora como mínimo, previamente a su desmolde. Para esto nos ayudamos del equipo apropiado para este objetivo.



**Fotografía 4-8 Fabricación de una briqueta, llenado del molde para compactar con el Martillo**



**Fotografía 4-9 Muestras Compactadas en los Moldes para Briquetas con los materiales granulares**



**Fotografía 4-10 Curado de Muestras en Moldes para Briquetas en Horno**



**Fotografía 4-11 Equipo para Desmolde de Briquetas y Muestras Desmoldadas**

#### 4.2.5 ENSAYO DE LAS BRIQUETAS

Con las briquetas compactadas se determinan los valores aproximados de los parámetros volumétricos y de la estabilidad.

Los parámetros volumétricos a menudo no son evaluados; se los calcula sólo como aproximaciones, debido a la posibilidad de que exista humedad en las briquetas compactadas, curadas y al gran número de especímenes necesarios para valores más exactos. Si se desean valores más precisos, debe tenerse en cuenta la humedad existente en los especímenes compactados y la máxima densidad teórica debe ser determinada con una mezcla suelta, libre de humedad.

##### **Propiedades Volumétricas (Método Marshall Modificado).**

La determinación de las propiedades volumétricas se realiza por medio del caso general expuesto para este tipo de mezclas con emulsión asfáltica esto es utilizando la geometría y el peso en el aire para determinar la densidad Bulk.

Debe recordarse que solo se realiza la determinación por esta forma para comprobar la validez de la compactación de briquetas y comprobar que las briquetas sean similares.

Se utiliza la siguiente fórmula:

$$D_b = \frac{W_a}{(H \times A)}$$

##### **Dónde:**

$D_b$  = Densidad bruta (medida) de un espécimen de mezcla compactada

$W_a$  = Peso, en aire del espécimen compactado

$H$  = Altura del espécimen compactado

$A$  = Área de la selección transversal de un espécimen compactado, se lo obtiene de la fórmula ( $A = \pi r^2$ )

- **EQUIPO**

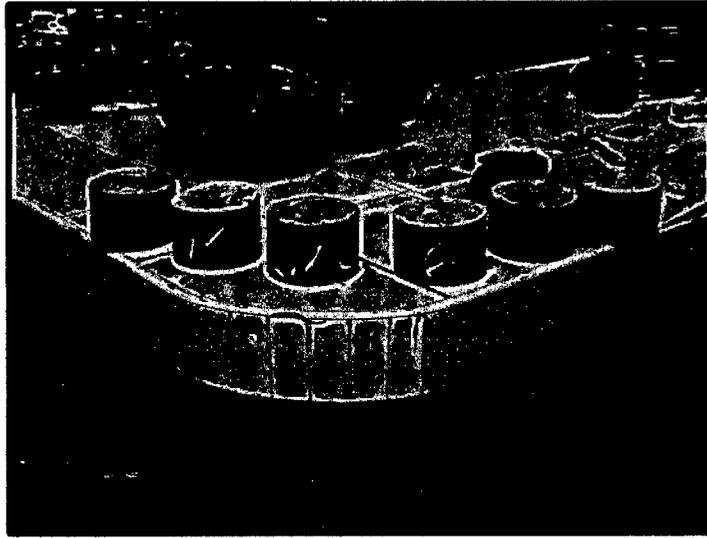
1. Calibrador
2. Balanza
3. Tizas



**Fotografía 4-12 Equipo utilizado para la determinación de Propiedades Volumétricas**

- **PROCEDIMIENTO**

1. Marcamos las briquetas con un crayón con un código fácil de identificar según sus propiedades.
2. Realizamos 4 marcas en una cara con el crayón, 2 en el sentido de un diámetro y las otras 2 en el diámetro perpendicular a este.
3. Realizamos la medición de altura en estos cuatro puntos anteriormente marcados.
4. Realizamos la medición de los diámetros en los 2 sentidos de los diámetros.
5. Estos valores serán promediados



**Fotografía 4-13 Señalización de Marcas para Medición de Dimensiones**

Las siguientes tablas indican los valores obtenidos para la determinación de la densidad Bulk para las briquetas fabricadas

DENSIDAD BULK : CANTERA TRES TOMAS

NUMERO DE BRIGUETA	ESTADO DE ENSAYO	% DE EMULSION	DIMENSIONES						DIAMETRO PROMEDIO	ALTURA PROMEDIO	PESO SECO W	VOLUMEN V	DENSIDAD BULK W/V	DENSIDAD BULK PROMEDIO
			DIAMETRO		ALTURA									
			d1	d2	h1	h2	h3	h4						
			cm	cm	cm	cm	cm	cm						
1	SECO	5	10.14	10.13	6.00	6.03	6.02	6.04	10.13	6.02	1157	486	2382	2377
2			10.13	10.13	6.00	6.13	6.10	6.10	10.13	6.08	1185	490	2418	
3			10.13	10.14	6.07	6.16	6.13	6.12	10.13	6.12	1167	494	2364	
4	SATURADO		10.15	10.16	6.15	6.11	6.23	6.20	10.15	6.17	1178	500	2358	
5			10.11	10.11	6.11	6.16	6.14	6.13	10.11	6.13	1171	492	2378	
6			10.13	10.14	6.18	6.16	6.16	6.19	10.13	6.17	1175	498	2361	
7	SECO	6	10.10	10.12	6.16	6.10	6.13	6.10	10.11	6.12	1172	492	2384	2362
8			10.09	10.16	6.17	6.15	6.19	6.18	10.13	6.17	1165	497	2344	
9			10.11	10.14	6.15	6.17	6.12	6.14	10.12	6.14	1170	494	2366	
10	SATURADO		10.13	10.10	6.15	6.16	6.18	6.20	10.11	6.17	1175	496	2370	
11			10.12	10.15	6.15	6.15	6.20	6.17	10.14	6.17	1176	498	2363	
12			10.13	10.13	6.17	6.24	6.15	6.27	10.13	6.21	1172	500	2345	
13	SECO	7	10.15	10.16	6.23	6.23	6.21	6.20	10.15	6.22	1184	503	2352	2355
14			10.11	10.11	6.24	6.22	6.11	6.26	10.11	6.21	1187	498	2383	
15			10.13	10.13	6.22	6.26	6.23	6.24	10.13	6.24	1182	503	2351	
16	SATURADO		10.11	10.13	6.22	6.22	6.26	6.19	10.12	6.22	1176	500	2351	
17			10.15	10.13	6.24	6.27	6.27	6.20	10.14	6.24	1187	504	2354	
18			10.13	10.14	6.25	6.33	6.30	6.34	10.14	6.30	1189	509	2338	

Tabla 4-10 Resultados de la Densidad Bulk Cantera Tres Tomas

**DENSIDAD BULK : CANTERA EL CINCO**

NUMERO DE BRIGUETA	ESTADO DE ENSAYO	% DE EMULSION	DIMENSIONES						DIAMETRO PROMEDIO	ALTURA PROMEDIO	PESO SECO W	VOLUMEN V	DENSIDAD BULK W/V	DENSIDAD BULK PROMEDIO
			DIAMETRO		ALTURA									
			d1	d2	h1	h2	h3	h4						
			cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	gr	cm3	Kg/m3	Kg/m3
1	SECO	5	10.08	10.11	6.27	6.15	6.12	6.25	10.09	6.20	1181	496	2383	2354
2			10.12	10.12	6.27	6.15	6.12	6.25	10.12	6.20	1179	499	2365	
3			10.08	10.10	6.24	6.19	6.22	6.20	10.09	6.21	1184	497	2383	
4	SATURADO		10.12	10.12	6.26	6.11	6.11	6.19	10.12	6.17	1156	496	2330	
5			10.13	10.13	6.13	6.30	6.31	6.13	10.13	6.22	1166	501	2327	
6			10.11	10.11	6.23	6.17	6.17	6.19	10.11	6.19	1160	497	2334	
7	SECO	6	10.08	10.09	6.29	6.30	6.31	6.32	10.08	6.30	1191	503	2367	2325
8			10.13	10.12	6.29	6.30	6.31	6.32	10.13	6.30	1189	508	2343	
9			10.11	10.11	6.33	6.36	6.32	6.30	10.11	6.33	1194	508	2349	
10	SATURADO		10.13	10.12	6.27	6.30	6.24	6.32	10.13	6.28	1169	506	2311	
11			10.11	10.17	6.26	6.50	6.44	6.25	10.14	6.36	1165	514	2268	
12			10.12	10.13	6.28	6.35	6.31	6.30	10.12	6.31	1174	508	2312	
13	SECO	7	10.10	10.10	6.56	6.26	6.24	6.58	10.10	6.41	1194	514	2323	2317
14			10.12	10.12	6.32	6.26	6.24	6.30	10.12	6.28	1192	505	2362	
15			10.11	10.13	6.28	6.31	6.29	6.26	10.12	6.29	1190	506	2352	
16	SATURADO		10.12	10.12	6.26	6.25	6.33	6.32	10.12	6.29	1169	506	2312	
17			10.12	10.11	6.40	6.34	6.47	6.32	10.12	6.38	1160	513	2262	
18			10.11	10.12	6.30	6.28	6.33	6.30	10.11	6.31	1159	507	2288	

**Tabla 4-11 Resultados de la Densidad Bulk Cantera El Cinco**

**DENSIDAD BULK : CANTERA SAN LUIS Y CACHINCHE**

NUMERO DE BRIGUETA	ESTADO DE ENSAYO	% DE EMULSION	DIMENSIONES						DIAMETRO PROMEDIO	ALTURA PROMEDIO	PESO SECO	VOLUMEN	DENSIDAD BULK	DENSIDAD BULK
			DIAMETRO		ALTURA									
			d1	d2	h1	h2	h3	h4						
			cm	cm	cm	cm	cm	cm						
1	SECO	5	10.15	10.19	6.57	6.63	6.59	6.65	10.17	6.61	1268	537	2361	2356
2			10.16	10.16	6.57	6.67	6.60	6.64	10.16	6.62	1264	537	2356	
3			10.19	10.17	6.62	6.65	6.58	6.61	10.18	6.62	1262	538	2345	
4	SATURADO		10.17	10.18	6.63	6.61	6.61	6.59	10.17	6.61	1274	537	2371	
5			10.15	10.18	6.65	6.62	6.67	6.63	10.17	6.64	1270	539	2356	
6			10.18	10.15	6.62	6.68	6.70	6.65	10.16	6.66	1267	540	2344	
7	SECO	6	10.15	10.15	6.72	6.67	6.63	6.69	10.15	6.68	1276	540	2362	2329
8			10.14	10.14	6.67	6.95	7.04	6.63	10.14	6.82	1272	551	2309	
9			10.15	10.15	6.66	6.59	6.65	6.57	10.15	6.62	1275	535	2381	
10	SATURADO		10.16	10.17	6.57	6.70	6.56	6.68	10.16	6.63	1263	538	2349	
11			10.16	10.17	6.90	6.66	6.93	6.69	10.16	6.80	1265	551	2295	
12			10.21	10.19	6.63	7.00	6.94	6.68	10.20	6.81	1267	556	2277	
13	SECO	7	10.10	10.09	6.81	6.92	6.81	6.88	10.09	6.86	1272	549	2319	2304
14			10.11	10.09	6.84	6.89	6.85	6.83	10.10	6.85	1267	549	2308	
15			10.10	10.09	6.83	6.87	6.86	6.85	10.09	6.85	1278	548	2332	
16	SATURADO		10.12	10.11	6.84	6.89	6.87	6.84	10.11	6.86	1265	551	2296	
17			10.13	10.12	6.89	6.85	6.85	6.80	10.12	6.85	1257	551	2281	
18			10.13	10.13	6.84	6.79	6.90	6.81	10.13	6.84	1260	551	2288	

**Tabla 4-12 Resultados de la Densidad Bulk Canteras San Luis (60%) + Cachinche (40%)**

#### 4.2.6 ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO

- **Estabilidad Seca y Saturada**

La estabilidad se calcula para cada grupo de briquetas después del curado, sin olvidar que primero ensayaremos un grupo de tres briquetas por porcentaje de emulsión en seco y luego de cuatro días ensayaremos las tres briquetas restantes sometidas a saturación en agua a temperatura de  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , para simular la influencia de la humedad

La determinación de la Estabilidad Marshall se la obtiene en unidades de libras. Cada equipo tiene una fórmula de estabilidad, debido a que tienen un anillo de compresión con una determinada constante, por esto las medidas obtenidas deben ser corregidas para obtener su equivalencia en unidades aceptadas por normas de cada país. El equipo utilizado consta de un anillo dinamómetro que da el valor de carga en Kilogramos, este valor se debe convertir al final a libras.

- **Flujo**

El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100") que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

Se determina promediando los valores obtenidos en los seis especímenes fabricados.

- **Equipo**

1. Prensa Marshall mecánica
2. Mordaza de rotura para ensayos de las probetas.

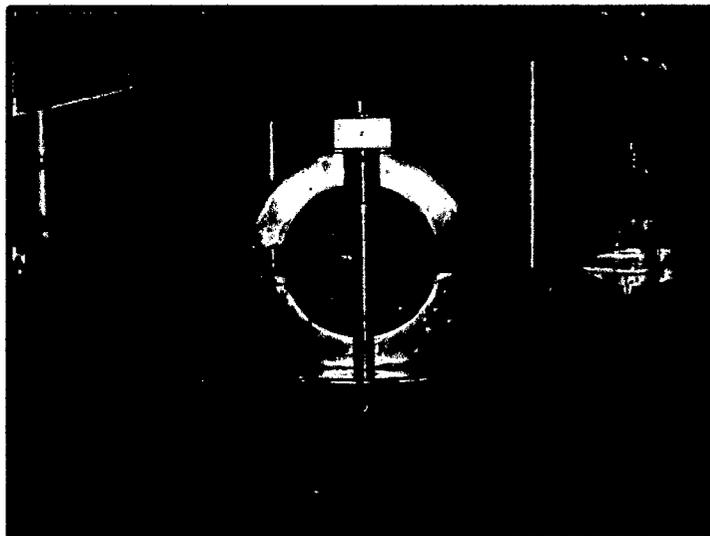
3. Medidor de deformación o cualquier otro dispositivo que permite medir la variación de diámetro de los especímenes durante el ensayo de estabilidad (Determinación del Flujo).
4. Baño de agua de control termostático para sumergir y calentar probetas que mantenga temperatura a 60 °C.

- **Procedimiento**

1. Se encera los aparatos, se comprueba el funcionamiento del extensómetro del anillo de carga y medidor de deformación de flujo.
2. Se sumergen las briquetas en un baño María a 60 °C por un tiempo entre 30 y 40 minutos.
3. Se limpian cuidadosamente las superficies interiores las mordazas de rotura y se lubrican con grasa o aceite las varillas de guía hasta que la mordaza superior se deslice libremente.
4. Se extrae la briqueta del baño y se seca la superficie.
5. Se coloca la briqueta centrada sobre la mordaza inferior, se ensambla luego la mordaza superior y el conjunto armado se sitúa centrado en la prensa.
6. Se verifica que el extensómetro del anillo de carga instalado en la máquina de compresión marque 0 cuando no se esté aplicando carga. Se ubica el medidor encargado de la medición de flujo sobre la varilla guía marcada y se comprueba que la lectura inicial sea 0.
7. Se aplica la carga a la probeta a velocidad de deformación constante de 50,8 mm (2 pulg) por minuto hasta que se produce la rotura. El punto de rotura viene definido por la carga máxima obtenida. La carga necesaria para producir la

rotura de la briqueta a 60 °C es el valor de la Estabilidad Marshall.

8. Mientras se está determinando la estabilidad, se mantiene firmemente el medidor de deformación en su posición sobre la varilla de guía, cuando llega a la carga máxima se lee y anota la medida. Esta lectura es el valor de deformación, expresada en centésimas de pulgada, conocido como flujo.
9. El proceso desde el momento de sacar la probeta del baño María hasta la rotura de la misma, debe realizarse lo más rápidamente.



**Fotografía 4-14 Colocación de la Briqueta en la Mordaza**



**Fotografía 4-15 Equipo con Briqueta para aplicación de Carga**

#### **4.2.7 CORRECCIÓN DE LA ESTABILIDAD**

La obtención de briquetas con las dimensiones normalizadas propone un problema que se lo resuelve en base a experiencias anteriores y en base a la fabricación de un gran número de briquetas, esto en la práctica no se lo realiza por costos y por tiempo. Para esto aparece la posibilidad de corrección de los valores de la estabilidad de las briquetas, esta corrección se realiza de la siguiente manera:

De las tablas obtenemos el espesor promedio de la briqueta en mm, buscamos en las tablas y encontramos el factor de corrección.

ESPEJOR (mm)	FACTOR	ESPEJOR (mm)	FACTOR	ESPEJOR (mm)	FACTOR
31.5	3.902	36.5	3.030	41.5	2.246
31.6	3.884	36.6	3.014	41.6	2.234
31.7	3.867	36.7	2.999	41.7	2.223
31.8	3.850	36.8	2.983	41.8	2.211
31.9	3.833	36.9	2.968	41.9	2.199
32.0	3.815	37.0	2.952	42.0	2.187
32.1	3.798	37.1	2.936	42.1	2.175
32.2	3.780	37.2	2.921	42.2	2.163
32.3	3.763	37.3	2.905	42.3	2.151
32.4	3.745	37.4	2.889	42.4	2.139
32.5	3.728	37.5	2.874	42.5	2.128
32.6	3.710	37.6	2.858	42.6	2.116
32.7	3.693	37.7	2.743	42.7	2.104
32.8	3.675	37.8	2.827	42.8	2.092
32.9	3.658	37.9	2.811	42.9	2.080
33.0	3.640	38.0	2.796	43.0	2.070
33.1	3.623	38.1	2.780	43.1	2.060
33.2	3.605	38.2	2.763	43.2	2.050
33.3	3.588	38.3	2.745	43.3	2.040
33.4	3.570	38.4	2.728	43.4	2.030
33.5	3.554	38.5	2.710	43.5	2.020
33.6	3.538	38.6	2.693	43.6	2.010
33.7	3.522	38.7	2.675	43.7	2.000
33.8	3.506	38.8	2.658	43.8	1.990
33.9	3.490	38.9	2.640	43.9	1.980
34.0	3.474	39.0	2.623	44.0	1.970
34.1	3.458	39.1	2.605	44.1	1.960
34.2	3.442	39.2	2.588	44.2	1.950
34.3	3.426	39.3	2.570	44.3	1.940
34.4	3.410	39.4	2.553	44.4	1.930
34.5	3.394	39.5	2.535	44.5	1.920
34.6	3.378	39.6	2.517	44.6	1.912
34.7	3.362	39.7	2.500	44.7	1.904
34.8	3.346	39.8	2.486	44.8	1.896
34.9	3.330	39.9	2.471	44.9	1.888
35.0	3.311	40.0	2.457	45.0	1.879
35.1	3.293	40.1	2.443	45.1	1.871
35.2	3.274	40.2	2.428	45.2	1.863

**Tabla 4- 13 Factor de Corrección para la Estabilidad**

35.3	3.255	40.3	2.414	45.3	1.855
35.4	3.236	40.4	2.399	45.4	1.847
35.5	3.218	40.5	2.385	45.5	1.839
35.6	3.199	40.6	2.371	45.6	1.831
35.7	3.180	40.7	2.356	45.7	1.823
35.8	3.161	40.8	2.342	45.8	1.814
35.9	3.143	40.9	2.328	45.9	1.806
36.0	3.124	41.0	2.313	46.0	1.798
36.1	3.105	41.1	2.299	46.1	1.790
36.2	3.086	41.2	2.284	46.2	1.782
36.3	3.068	41.3	2.270	46.3	1.774
36.4	3.049	41.4	2.258	46.4	1.766
46.5	1.758	51.5	1.435	56.5	1.216
46.6	1.750	51.6	1.430	56.6	1.213
46.7	1.742	51.7	1.425	56.7	1.209
46.8	1.734	51.8	1.420	56.8	1.205
46.9	1.726	51.9	1.415	56.9	1.201
47.0	1.718	52.0	1.410	57.0	1.198
47.1	1.710	52.1	1.405	57.1	1.194
47.2	1.702	52.2	1.400	57.2	1.190
47.3	1.694	52.3	1.395	57.3	1.187
47.4	1.686	52.4	1.390	57.4	1.184
47.5	1.678	52.5	1.386	57.5	1.181
47.6	1.670	52.6	1.381	57.6	1.178
47.7	1.663	52.7	1.377	57.7	1.174
47.8	1.656	52.8	1.373	57.8	1.171
47.9	1.649	52.9	1.368	57.9	1.168
48.0	1.643	53.0	1.364	58.0	1.165
48.1	1.636	53.1	1.359	58.1	1.162
48.2	1.629	53.2	1.355	58.2	1.166
48.3	1.622	53.3	1.351	58.3	1.156
48.4	1.615	53.4	1.346	58.4	1.153
48.5	1.608	53.5	1.342	58.5	1.149
48.6	1.601	53.6	1.338	58.6	1.146
48.7	1.594	53.7	1.333	58.7	1.143
48.8	1.588	53.8	1.329	58.8	1.140
48.9	1.581	53.9	1.324	58.9	1.137
49.0	1.574	54.0	1.320	59.0	1.134
49.1	1.567	54.1	1.316	59.1	1.131
49.2	1.560	54.2	1.311	59.2	1.128

**Tabla 4- 14 Factor de Corrección para la Estabilidad**

49.3	1.554	54.3	1.307	59.3	1.124
49.4	1.549	54.4	1.303	59.4	1.121
49.5	1.543	54.5	1.298	59.5	1.118
49.6	1.538	54.6	1.294	59.6	1.115
49.7	1.532	54.7	1.289	59.7	1.112
49.8	1.526	54.8	1.285	59.8	1.109
49.9	1.521	54.9	1.281	59.9	1.106
50.0	1.515	55.0	1.276	60.0	1.103
50.1	1.509	55.1	1.272	60.1	1.099
50.2	1.504	55.2	1.268	60.2	1.096
50.3	1.498	55.3	1.263	60.3	1.093
50.4	1.493	55.4	1.259	60.4	1.090
50.5	1.487	55.5	1.254	60.5	1.087
50.6	1.481	55.6	1.250	60.6	1.084
50.7	1.476	55.7	1.246	60.7	1.081
50.8	1.470	55.8	1.243	60.8	1.078
50.9	1.465	55.9	1.239	60.9	1.074
51.0	1.460	56.0	1.235	61.0	1.071
51.1	1.455	56.1	1.231	61.1	1.068
51.2	1.500	56.2	1.228	61.2	1.065
51.3	1.445	56.3	1.224	61.3	1.062
51.4	1.440	56.4	1.220	61.4	1.059
61.5	1.056	66.4	0.936	71.3	0.834
61.6	1.053	66.5	0.934	71.4	0.832
61.7	1.049	66.6	0.932	71.5	0.830
61.8	1.046	66.7	0.930	71.6	0.829
61.9	1.043	66.8	0.928	71.7	0.828
62.0	1.040	66.9	0.925	71.8	0.826
62.1	1.037	67.0	0.923	71.9	0.825
62.2	1.035	67.1	0.920	72.0	0.824
62.3	1.032	67.2	0.918	72.1	0.823
62.4	1.029	67.3	0.915	72.2	0.821
62.5	1.027	67.4	0.913	72.3	0.820
62.6	1.024	67.5	0.910	72.4	0.819
62.7	1.021	67.6	0.908	72.5	0.818
62.8	1.019	67.7	0.905	72.6	0.816
62.9	1.016	67.8	0.903	72.7	0.815
63.0	1.013	67.9	0.900	72.8	0.814
63.1	1.011	68.0	0.898	72.9	0.813
63.2	1.008	68.1	0.895	73.0	0.811

**Tabla 4- 15 Factor de Corrección para la Estabilidad**

63.3	1.005	68.2	0.893	73.1	0.810
63.4	1.003	68.3	0.890	73.2	0.808
63.5	1.000	68.4	0.888	73.3	0.806
63.6	0.998	68.5	0.886	73.4	0.804
63.7	0.995	68.6	0.884	73.5	0.802
63.8	0.993	68.7	0.883	73.6	0.800
63.9	0.990	68.8	0.881	73.7	0.798
64.0	0.988	68.9	0.879	73.8	0.796
64.1	0.985	69.0	0.877	73.9	0.794
64.2	0.983	69.1	0.875	74.0	0.792
64.3	0.980	69.2	0.873	74.1	0.790
64.4	0.978	69.3	0.871	74.2	0.788
64.5	0.975	69.4	0.869	74.3	0.786
64.6	0.973	69.5	0.868	74.4	0.784
64.7	0.970	69.6	0.866	74.5	0.782
64.8	0.968	69.7	0.864	74.6	0.780
64.9	0.965	69.8	0.862	74.7	0.779
65.0	0.963	69.9	0.860	74.8	0.778
65.1	0.960	70.0	0.858	74.9	0.776
65.2	0.958	70.1	0.856	75.0	0.775
65.3	0.956	70.2	0.854	75.1	0.774
65.4	0.954	70.3	0.853	75.2	0.773
65.5	0.953	70.4	0.851	75.3	0.771
65.6	0.951	70.5	0.849	75.4	0.770
65.7	0.949	70.6	0.847	75.5	0.769
65.8	0.947	70.7	0.845	75.6	0.768
65.9	0.945	70.8	0.843	75.7	0.766
66.0	0.943	70.9	0.841	75.8	0.765
66.1	0.941	71.0	0.839	75.9	0.764
66.2	0.939	71.1	0.838	76.0	0.763
66.3	0.938	71.2	0.836	76.1	0.761

Tabla 4- 16 Factor de Corrección para la Estabilidad

Utilizando el equipo Marshall obtenemos el valor de la estabilidad en libras - fuerza lo cual aplicando las tablas convertimos la unidades de la estabilidad en kilogramos – fuerza

Jon Number: PRODUCTION  
 Master Serial N°: D - 3916  
 Proving Ring: PR-50  
 Serial N°: 13110000215  
 Capacity: 2668,92 kg  
 Calibration Date: 26-nov-13

$$Y (\text{Pounds}) = 7.559114 * X(\text{Divisiones}) + 14,77802$$

Correlation Coefficient = 0,999994028

División	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
70	246.72	250.15	253.55	257.01	260.44	263.95	267.29	270.72	274.15	277.58
80	281.01	284.44	287.37	291.29	294.72	298.15	301.58	305.01	308.44	311.87
90	315.30	318.73	322.15	325.58	329.01	332.44	336.87	339.33	342.73	345.16
100	349.58	353.01	356.44	359.87	363.30	386.73	370.16	373.59	377.02	380.44
110	383.87	387.30	390.73	394.16	397.59	401.02	404.45	407.87	411.30	414.73
120	418.16	421.59	425.02	428.45	431.55	435.31	438.73	442.15	445.59	449.02
130	452.45	456.88	458.31	452.74	496.16	489.69	473.02	478.45	479.88	483.31
140	455.74	490.17	493.59	497.02	530.45	503.88	507.31	510.74	514.17	517.60
150	521.03	524.45	527.88	531.31	534.74	538.17	541.60	545.06	545.46	661.88
160	555.31	558.74	582.17	585.60	559.03	572.48	575.89	579.32	582.74	595.17
170	589.63	593.03	596.46	599.89	603.32	606.75	610.17	613.60	617.03	620.46
180	623.89	627.32	630.75	634.18	637.61	641.03	644.46	647.89	651.32	654.75
190	658.18	661.61	655.04	668.46	671.89	675.32	678.75	682.16	585.61	689.04
200	692.47	695.89	699.32	702.75	706.18	709.61	713.04	716.47	719.90	723.33
210	726.75	730.18	733.61	737.04	740.47	743.90	747.33	750.76	754.18	757.51
220	761.04	764.47	787.90	771.33	774.75	775.19	781.62	785.04	788.47	791.90
230	795.33	798.76	802.19	805.62	809.05	812.47	815.90	819.33	822.76	828.10
240	829.62	833.05	836.48	839.91	843.33	845.76	850.19	853.82	857.05	860.48
250	853.91	867.34	870.75	874.19	877.62	881.05	884.48	887.91	891.34	894.77
260	898.19	901.52	905.05	908.48	911.91	915.34	918.77	922.28	925.63	929.05
270	932.48	935.91	939.34	942.77	946.20	949.63	953.06	966.48	959.91	963.34
280	966.77	970.20	973.53	977.06	980.49	983.92	987.34	990.77	994.20	997.63
290	1001.06	1004.49	1007.92	1011.35	1014.77	1016.20	1021.63	1025.06	1028.49	1031.92
300	1035.35	1038.78	1042.21	1045.63	1049.06	1052.49	1055.92	1059.35	1062.78	1088.21
310	1069.64	1073.06	1076.49	1079.92	1083.35	1086.78	1090.21	1093.64	1097.07	1100.50
320	1103.92	1107.35	1110.78	1114.21	1117.64	1121.07	1124.50	1127.93	1131.35	1134.78
330	1138.21	1141.64	1145.07	1148.50	1151.93	1155.36	1158.78	1162.21	1165.64	1159.07
340	1172.50	1175.93	1179.36	1182.79	1186.22	1189.64	1193.07	1196.50	1199.93	1203.35
350	1206.79	1210.22	1213.65	1217.07	1220.50	1223.93	1227.36	1230.79	1234.22	1237.65
360	1241.08	1244.51	1247.93	1251.36	1254.79	1258.22	1261.65	1285.08	1268.51	1271.94
370	1275.38	1278.79	1232.22	1285.65	1289.06	1292.51	1295.94	1299.37	1302.80	1306.22
380	1309.65	1313.06	1318.51	1319.94	1323.37	1328.83	1330.23	1333.65	1337.08	1340.51
390	1343.94	1347.37	1350.80	1354.23	1357.66	1381.08	1364.51	1367.94	1371.37	1374.80
400	1378.23	1381.68	1385.09	1388.52	1391.94	1395.37	1398.80	1402.23	1405.66	1409.09
410	1412.52	1415.95	1419.37	1422.80	1426.23	1429.66	1433.09	1436.52	1439.95	1443.38
420	1446.81	1450.23	1453.86	1457.09	1460.52	1453.95	1467.38	1470.81	1474.24	1477.66
430	1481.09	1484.52	1487.95	4491.38	1494.81	1493.24	1501.67	1505.10	1505.52	1511.95

**Tabla 4-17 conversión de unidades Estabilidad de Kg- f a Lib.min**

440	1515.38	1518.81	1522.24	1525.67	1529.10	1532.53	1535.95	1539.38	1542.81	1546.24
450	1549.67	1553.10	1556.53	2559.96	1563.38	1586.81	1570.24	1573.67	1577.10	1580.53
460	1583.96	1587.39	1590.52	1594.24	1597.67	1601.10	1504.53	1607.96	1611.39	1614.82
470	1618.25	1621.67	1625.10	1628.53	1631.96	1635.39	1638.82	1642.25	1645.68	1649.11
480	1652.53	1655.96	1659.39	1662.82	1665.25	1669.58	1673.11	1676.54	1679.96	1683.39
490	1686.82	1690.25	1693.68	1697.11	1700.54	1703.97	1707.40	1710.82	1714.25	1717.68
500	1721.11	1724.54	1727.97	1731.40	1735.83	1738.25	1741.58	1745.11	1748.54	1751.97
510	1755.40	1758.83	1762.26	1765.68	1769.11	1772.54	1775.97	1779.40	1782.83	1786.25
520	1789.69	1793.12	1795.54	1799.97	1803.40	1806.63	1810.26	1813.59	1817.12	1820.55
530	1823.97	1827.40	1830.83	1834.26	1837.69	1841.12	1844.55	1847.95	1851.41	1854.83
540	1858.26	1861.69	1865.12	1868.55	1871.98	1875.41	1878.84	1882.26	1885.89	1889.12
550	1892.55	1895.98	1899.41	1902.84	1905.27	1909.70	1913.12	1916.55	1919.98	1923.41
560	1926.84	1930.27	1933.70	1937.13	1940.55	1943.98	1947.41	1950.84	1954.27	1957.70
570	1961.13	1964.56	1967.98	1971.41	1974.84	1978.27	1961.70	1985.13	1988.56	1991.99
580	1995.42	1998.84	2002.27	2005.70	2009.13	2012.56	2015.99	2019.42	2022.85	2026.27
590	2029.70	2033.13	2036.56	2039.99	2043.42	2045.85	2050.28	2053.71	2057.13	2060.56
600	2063.99	2067.42	2070.85	2074.28	2077.71	2081.14	2084.56	2087.99	2091.42	2094.85
610	2098.28	2101.71	2105.14	2108.57	2112.00	2115.42	2118.85	2122.28	2125.71	2129.14
620	2132.57	2136.00	2139.43	2142.85	2146.28	2149.71	2153.14	2156.57	2160.00	2163.43
630	2166.86	2170.29	2173.71	2177.14	2180.57	2184.00	2187.43	2190.86	2194.29	2197.72
640	2201.14	2204.57	2208.00	2211.43	2214.86	2218.29	2221.72	2225.15	2228.57	2232.00
650	2235.43	2238.86	2242.29	2245.72	2249.15	2252.58	2256.01	2259.43	2262.86	2266.29
660	2269.72	2273.15	2276.58	2280.01	2283.44	2286.86	2290.29	2293.72	2297.15	2300.58
670	2304.01	2307.44	2310.87	2314.30	2317.72	2321.15	2324.58	2328.01	2331.44	2334.57
680	2338.30	2341.73	2345.15	2348.58	2352.01	2355.44	2358.87	2362.30	2365.73	2369.16
690	2372.59	2376.01	2379.44	2382.87	2386.30	2389.73	2393.16	2395.59	2400.02	2403.44
700	2406.87	2410.30	2413.73	2417.16	2420.59	2424.02	2427.45	2430.87	2434.30	2437.73
710	2441.16	2444.59	2448.02	2451.45	2454.88	2458.31	2461.73	2455.16	2468.59	2472.02
720	2475.45	2478.88	2482.31	2485.74	2489.16	2492.59	2496.02	2496.45	2502.88	2506.31
730	2509.74	2513.17	2516.60	2520.02	2523.45	2526.88	2530.31	2533.74	2537.17	2540.60
740	2544.03	2547.45	2550.88	2554.31	2557.74	2561.17	2564.60	2588.03	2571.45	2574.89
750	2578.31	2561.74	2585.17	2588.60	2592.03	2595.45	2598.89	2602.32	2605.74	2609.17
760	2612.60	2616.03	2619.46	2622.89	2826.32	2529.75	2633.17	2636.60	2640.03	2643.46
770	2646.89	2650.32	2653.75	2657.18	2660.61	2664.03	2667.45	2670.89	2674.32	2677.75
780	2681.18	2684.61	2668.04	2691.46	2694.89	2696.32	2701.75	2705.18	2706.61	2712.04

**Tabla 4-18 conversión de unidades Estabilidad de Kg- f a Lib.min**

La estabilidad medida de la briqueta multiplicada por el factor correspondiente a su altura, es igual a la estabilidad corregida para una briqueta de 63.5 mm.

Las siguientes tablas indican los datos obtenidos para la determinación de los valores de estabilidad y flujo para las muestras en estado seco y saturado.

ESTABILIDAD Y FLUJO CANTERA TRES TOMAS												
NUMERO DE BRIGUETA	ESTADO DE ENSAYO	% DE EMULSION	ESPESOR DE LA BRIGUETAS		ESTABILIDAD						FLUJO	
					MEDICION DEL APARATO	FC	SEGÚN LA TABLA	CORREGIDA		PROMEDIO	MEDICION	PROMEDIO
			Kg.Min	Kg.Min				Lbs.Min	Lbs.Min			
1	SECO	5	6.02	60.2	350	1.096	1206.79	1,323	2,910	2,852	14	15
2			6.08	60.8	315	1.078	1052.49	1,135	2,496		13	
3			6.12	61.2	390	1.065	1343.94	1,431	3,149		15	
4	SATURADO		6.17	61.7	341	1.049	1175.93	1,234	2,714	2,695	16	
5			6.13	61.3	321	1.062	1107.35	1,176	2,587		15	
6			6.17	61.7	350	1.049	1206.79	1,266	2,785		17	
7	SECO	6	6.12	61.2	319	1.065	1100.5	1,172	2,578	2,463	18	19
8			6.17	61.7	295	1.049	1018.2	1,068	2,350		19	
9			6.14	61.4	306	1.059	1055.92	1,118	2,460		20	
10	SATURADO		6.17	61.7	312	1.049	1076.49	1,129	2,484	2,404	18	
11			6.17	61.7	315	1.049	1052.49	1,104	2,429		20	
12			6.21	62.1	292	1.037	1007.92	1,045	2,299		18	
13	SECO	7	6.22	62.2	307	1.035	1059.36	1,096	2,412	2,260	23	22
14			6.21	62.1	284	1.037	980.49	991	2,180		21	
15			6.24	62.4	280	1.029	966.77	995	2,189		23	
16	SATURADO		6.22	62.2	296	1.035	1021.63	1,057	2,326	2,210	21	
17			6.24	62.4	280	1.029	966.77	995	2,189		23	
18			6.30	63.0	275	1.013	949.63	962	2,116		22	

Tabla 4-19 Resultados de la Estabilidad y Flujo Cantera Tres Tomas

ESTABILIDAD Y FLUJO CANTERA EL CINCO												
NUMERO DE BRIGUETA	ESTADO DE ENSAYO	% DE EMULSION	ESPESOR DE LA BRIGUETAS		ESTABILIDAD						FLUJO	
					MEDICION DEL APARATO	FC	SEGÚN LA TABLA	CORREGIDA		PROMEDIO	MEDICION (1/100")	PROMEDIO (1/100")
			cm	mm				Kg.Min	Kg.Min	Lbs.Min		
1	SECO	5	6.20	62.00	404	1.040	1391.94	1,448	3,185	3,244	14	14
2			6.20	62.00	420	1.040	1446.81	1,505	3,310		11	
3			6.21	62.10	412	1.037	1419.37	1,472	3,238		15	
4	SATURADO		6.17	61.70	356	1.049	1227.36	1,288	2,833	2,835	15	
5			6.22	62.20	380	1.035	1309.65	1,355	2,982		16	
6			6.19	61.90	340	1.043	1172.50	1,223	2,690		14	
7	SECO	6	6.30	63.00	346	1.019	1193.07	1,216	2,675	2,573	17	17
8			6.30	63.00	321	1.013	1107.36	1,122	2,468		15	
9			6.33	63.30	338	1.005	1165.64	1,171	2,577		19	
10	SATURADO		6.28	62.80	315	1.019	1086.78	1,107	2,436	2,271	17	
11			6.36	63.60	294	0.998	1014.77	1,013	2,228		16	
12			6.31	63.10	280	1.011	966.77	977	2,150		18	
13	SECO	7	6.41	64.10	311	1.016	1073.06	1,090	2,399	2,282	23	21
14			6.28	62.80	287	1.019	990.77	991	2,180		21	
15			6.29	62.90	294	1.016	1014.77	1,031	2,268		19	
16	SATURADO		6.29	62.90	275	1.016	949.63	965	2,123	2,094	22	
17			6.38	63.80	257	0.993	884.48	878	1,932		19	
18			6.31	63.10	290	1.011	1001.06	1,012	2,227		21	

Tabla 4-20 Resultados de la Estabilidad y Flujo Cantera El Cinco

ESTABILIDAD Y FLUJO CANTERA 60% Y 40%												
NUMERO DE BRIGUETA	ESTADO DE ENSAYO	% DE EMULSION	ESPESOR DE LA BRIGUETAS		ESTABILIDAD						FLUJO	
					MEDICION DEL APARATO	FC	SEGÚN LA TABLA	CORREGIDA		PROMEDIO	MEDICION (1/100")	PROMEDIO (1/100")
			cm	mm				Kg.Min	Kg.Min			
1	SECO	5	6.61	66.1	320	0.941	1103.92	1,039	2,285	2,251	13	13
2			6.62	66.2	317	0.939	1093.64	1,027	2,259		12	
3			6.62	66.2	310	0.939	1069.64	1,004	2,210		13	
4	SATURADO		6.61	66.1	298	0.941	1028.49	968	2,129	2,126	14	
5			6.64	66.4	305	0.936	1052.49	985	2,167		13	
6			6.66	66.6	294	0.932	1014.77	946	2,081		15	
7	SECO	6	6.68	66.8	302	0.928	1042.21	967	2,128	2,066	13	15
8			6.82	68.2	290	0.893	1001.06	894	1,967		15	
9			6.62	66.2	295	0.939	1018.2	956	2,103		14	
10	SATURADO		6.63	66.3	285	0.938	983.92	923	2,030	1,966	16	
11			6.80	68.0	288	0.898	994.2	893	1,964		16	
12			6.81	68.1	280	0.895	966.77	865	1,904		17	
13	SECO	7	6.86	68.6	275	0.884	949.63	839	1,847	1,876	19	18
14			6.85	68.5	279	0.886	963.34	854	1,878		18	
15			6.85	68.5	283	0.886	977.06	866	1,904		17	
16	SATURADO		6.86	68.6	270	0.884	932.48	824	1,813	1,820	18	
17			6.85	68.5	272	0.886	939.34	832	1,831		17	
18			6.84	68.4	269	0.888	929.05	825	1,815		19	

Tabla 4-21 Resultados de la Estabilidad y Flujo Cantera San Luis (60%) +Cachinche (40%)

#### 4.2.8 RESULTADOS OBTENIDOS

Con los datos obtenidos se realiza gráficos de cada una de las características: Estabilidades, flujo y densidad Bulk, relacionándolas con los porcentajes de emulsión.

Cada gráfica conectara los puntos por medio de una curva suavizada que se ajuste de mejor forma a cada uno de los resultados.

El porcentaje de pérdida de estabilidad se compara con el contenido de Emulsión Asfáltica no como criterio de diseño, pero si se debe comparar de no superar los límites.

Se utiliza la fórmula anteriormente propuesta.

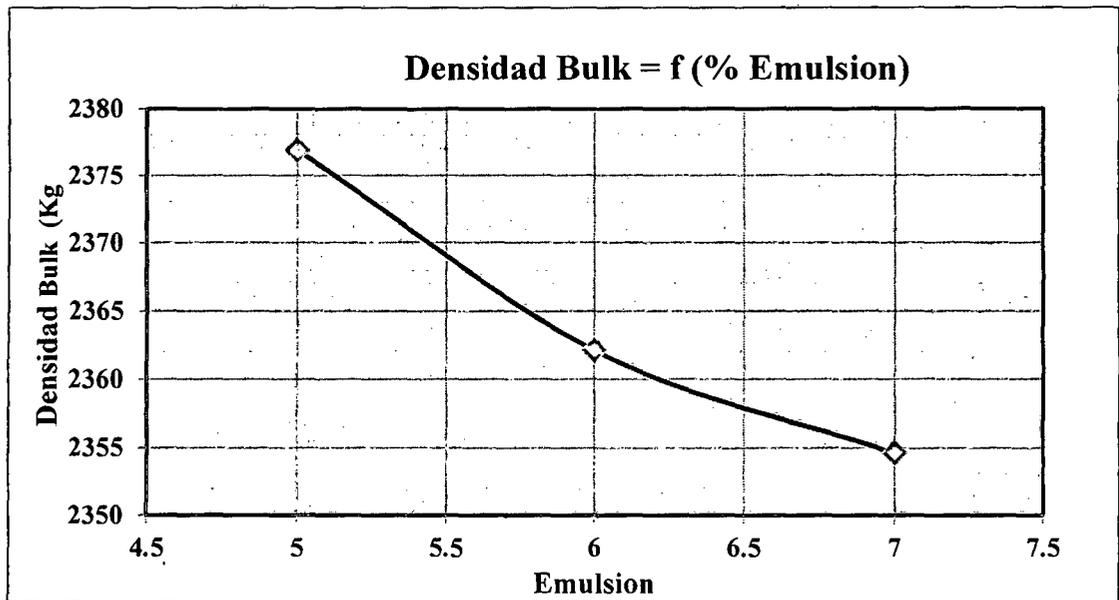
$$\% \text{ de Pérdida de Estabilidad} = \left( \frac{\text{Estabilidad Seca} - \text{Estabilidad Saturada}}{\text{Estabilidad Saturada}} \right) \times 100$$

#### Propiedad Volumétrica

#### DENSIDAD BULK

Porcentaje de Emulsión	Densidad de Bulk
%	Kg/cm <sup>3</sup>
5	2377
6	2362
7	2355

Tabla 4-22 Densidad Bulk Cantera Tres Tomas



**Figura 4-5 Densidad Bulk v/s Contenido de Emulsión Asfáltica Cantera Tres Tomas**

Porcentaje de Emulsión	Densidad de Bulk
%	Kg/cm3
5	2354
6	2325
7	2317

**Tabla 4-23 Densidad Bulk Cantera El Cinco**

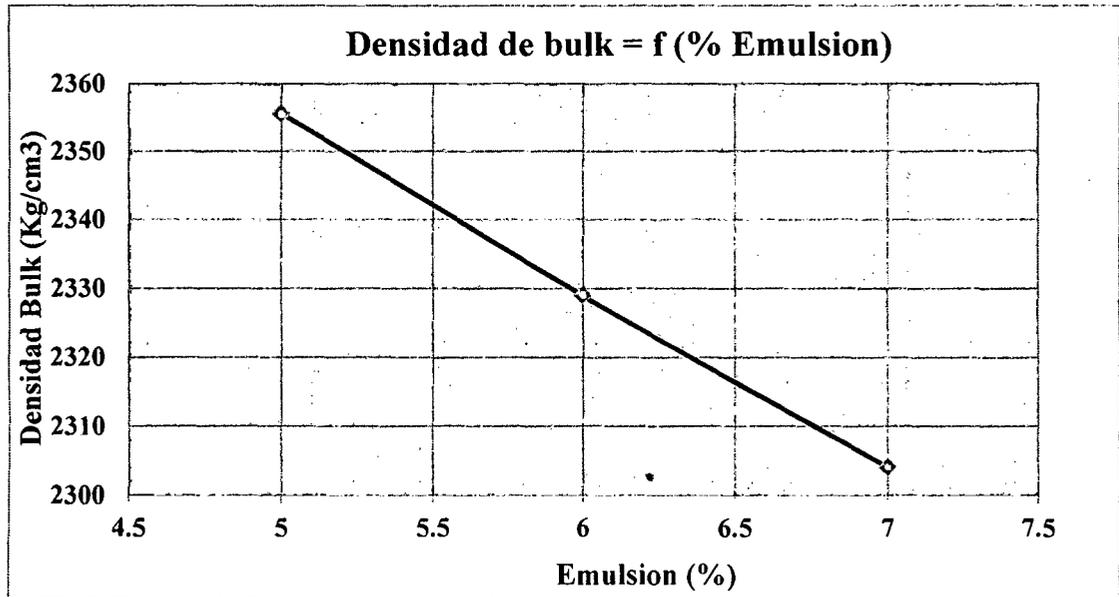
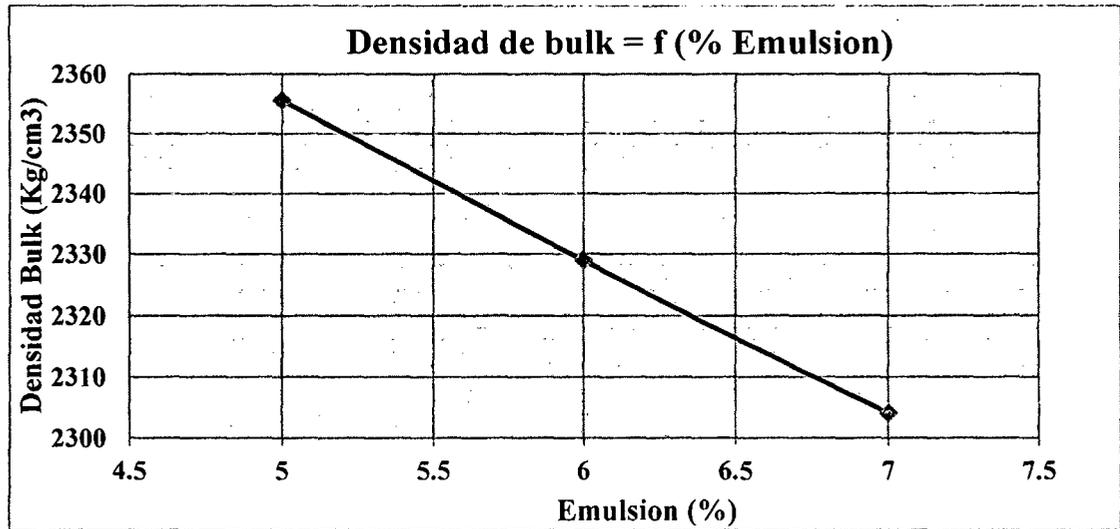


Figura 4-6 Densidad Bulk v/s Contenido de Emulsión Asfáltica Cantera El cinco

Porcentaje de Emulsión	Densidad de Bulk
%	Kg/cm <sup>3</sup>
5	2356
6	2329
7	2304

Tabla 4-24 Densidad Bulk Cantera San Luis (60%) + Cachinche (40%)



**Figura 4-7 Densidad Bulk v/s Contenido de Emulsión Asfáltica Cantera San Luis (60%) + Cachinche (40%)**

En las gráficas se observa que al disminuir la cantidad de emulsión se ve un incremento en la densidad Bulk de la mezcla compactada.

#### **Propiedades de Mezcla Compactada**

#### **ESTABILIDAD SECA Y SATURADA**

<b>Porcentaje de Emulsión</b>	<b>Estabilidad Seca</b>	<b>Estabilidad Saturada</b>
<b>%</b>	<b>Lib. Min</b>	<b>Lib. Min</b>
5	2852	2695
6	2463	2404
7	2260	2210

**Tabla 4-25 Estabilidad Seca y Saturada Cantera Tres tomas**

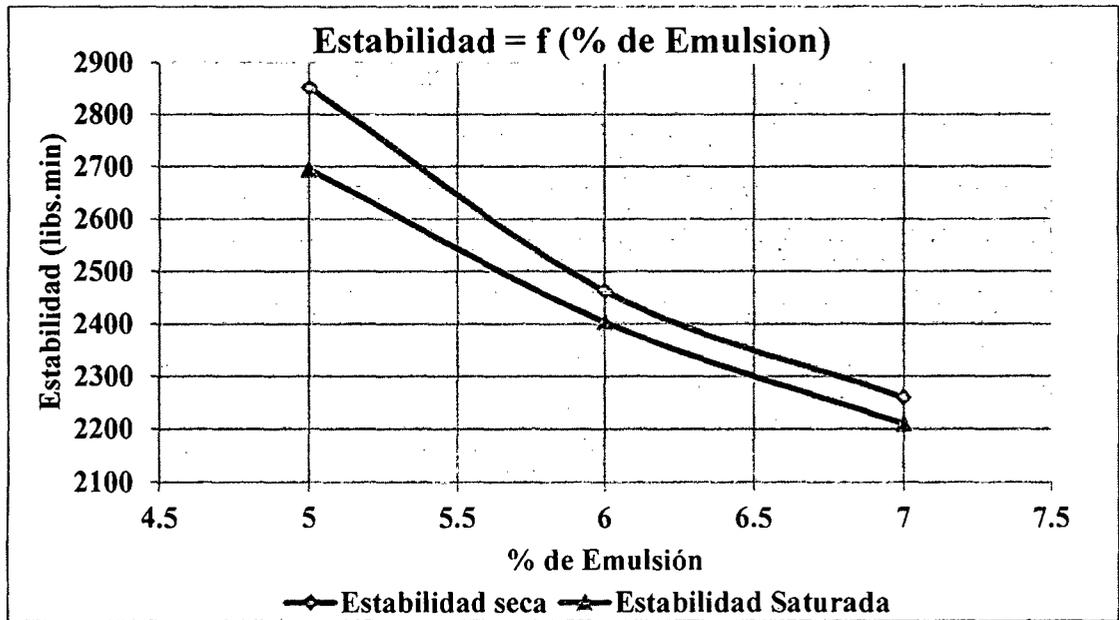
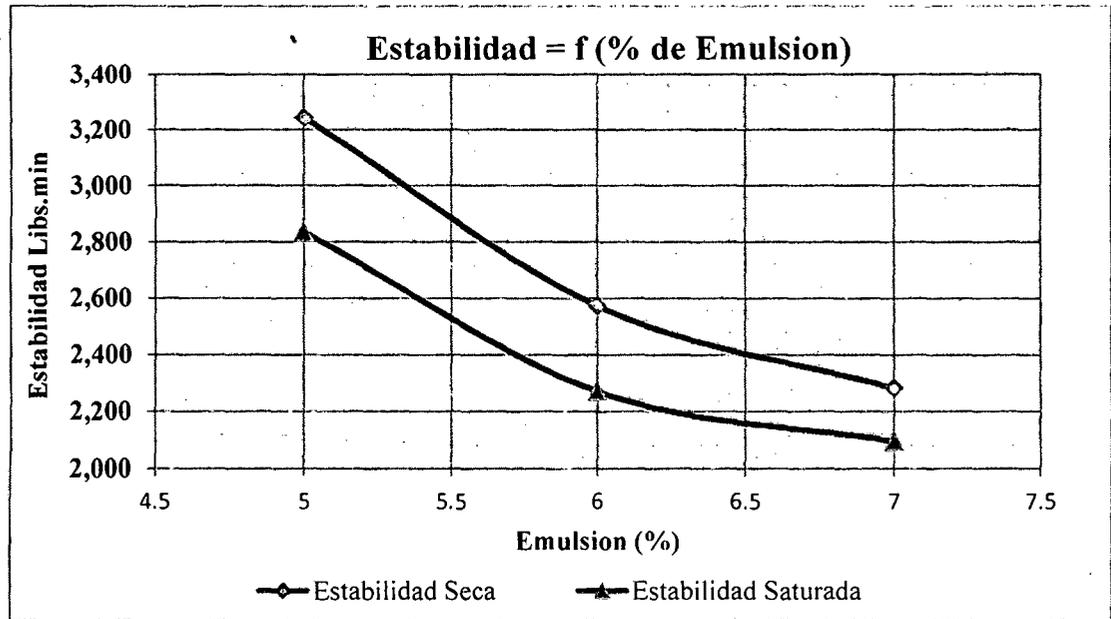


Figura 4-8 Estabilidad seca y saturada vs Contenido de Emulsion Cantera Tres Tomas

Porcentaje de Emulsion	Estabilidad Seca	Estabilidad Saturada
%	Lib. Min	Lib. Min
5	3244	2835
6	2573	2271
7	2282	2094

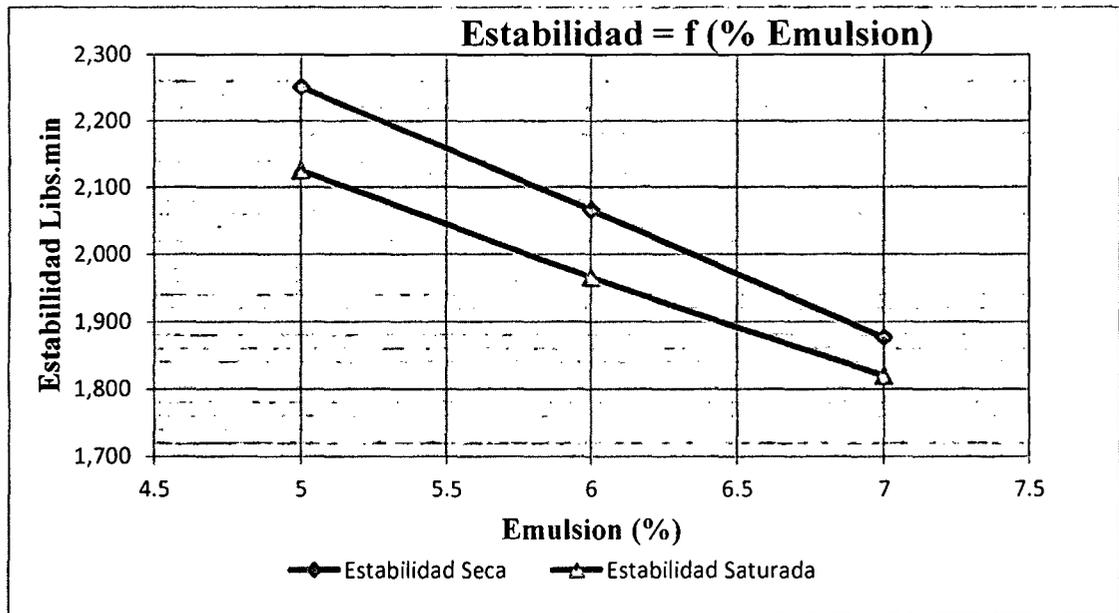
Tabla 4-26 Estabilidad Seca y Saturada Cantera El Cinco



**Figura 4-9 Estabilidad seca y saturada vs Contenido de Emulsión Cantera El Cinco**

Porcentaje de Emulsión	Estabilidad Seca	Estabilidad Saturada
%	Lib. Min	Lib. Min
5	2251	2126
6	2066	1966
7	1876	1820

**Tabla 4-27 Estabilidad Seca y Saturada Cantera San Luis (60%) + Cachinche (40%)**



**Figura 4-10 Estabilidad seca y saturada vs Contenido de Emulsión Cantera San Luis (60%) +Cachinche (40%)**

Al graficar la Estabilidad Seca vs el porcentaje de emulsión y la Estabilidad Saturada vs el porcentaje de emulsión se forman curvas parabólicas negativas con ejes de simetría paralela al eje y; son curvas muy similares a las curvas típicas para este tipo de materiales en rango inferior que se está trabajando. Se puede ver claramente que al incrementar un porcentaje de emulsión disminuye la estabilidad seca y saturada.

- Los valores de estabilidad seca obtenidos para la base estabilizada cantera Tres Tomas van desde 2852 Libs.min a 2260 Libs.min para los porcentajes escogidos de 5,6 y 7% de emulsión; los valores menores a 1798.95 Libs.min, son rechazados.

El valor mínimo de emulsión para superar las 1798.95 Libs.min de estabilidad seca es 5.0% de emulsión.

El valor mínimo de emulsión para superar las 1798.95 Libs.min de estabilidad saturada es 5 % de emulsión.

- Los valores de estabilidad seca obtenidos para la base estabilizada cantera El Cinco van desde 3244 Lbs.min a 2282 Lbs.min para los porcentajes escogidos de 5,6 y 7% de emulsión; los valores menores a 1798.95 Lbs.min, son rechazados.

El valor mínimo de emulsión para superar las 1798.95 Lbs.min de estabilidad seca es 5.0% de emulsión.

- Los valores de estabilidad seca obtenidos para la base estabilizada cantera El Cinco van desde 2216 Lbs.min a 1876 Lbs.min para los porcentajes escogidos de 5,6 y 7% de emulsión; los valores menores a 1798.95 Lbs.min, son rechazados.

El valor mínimo de emulsión para superar las 1798.95 Lbs.min de estabilidad seca es 5.0% de emulsión.

El valor mínimo de emulsión para superar las 1798.95 Lbs.min de estabilidad saturada es 5 % de emulsión.

La estabilidad saturada en la gráfica nos indica que existe influencia del agua en la base asfáltica, sin embargo deberá ser analizada para determinar cantidad.

## FLUJO

Porcentaje de Emulsión	Flujo
%	(1/100")
5	15
6	19
7	22

Tabla 4-28 Flujo Cantera Tres Tomas

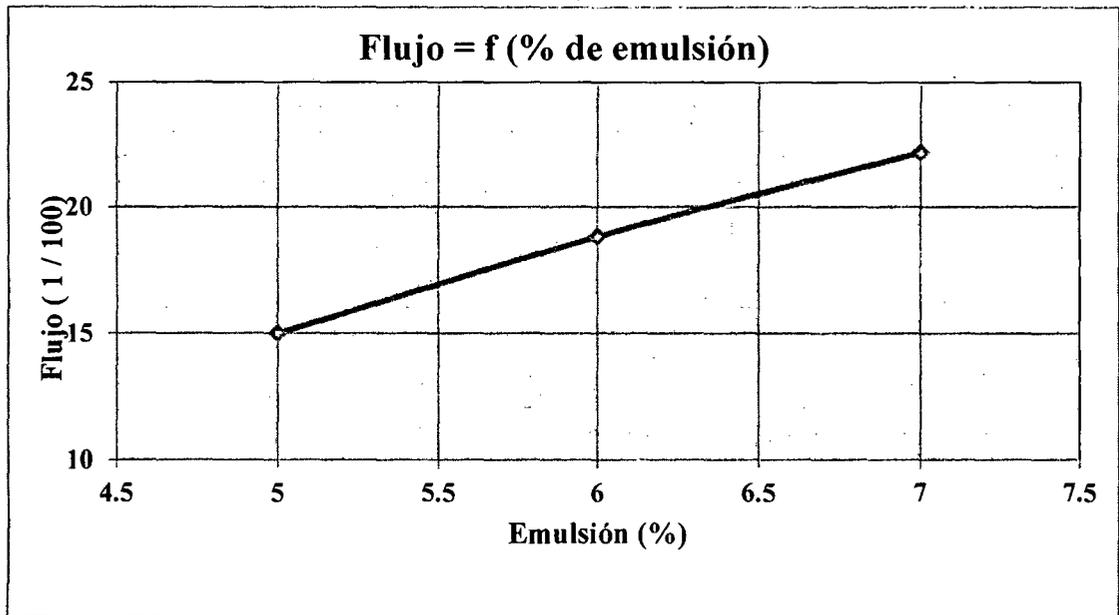


Figura 4-11 Flujo v/s Contenido de Emulsión Asfáltica Cantera Tres Tomas

Porcentaje de Emulsión	Flujo
%	(1/100")
5	14
6	17
7	21

Tabla 4-29 Flujo Cantera El Cinco

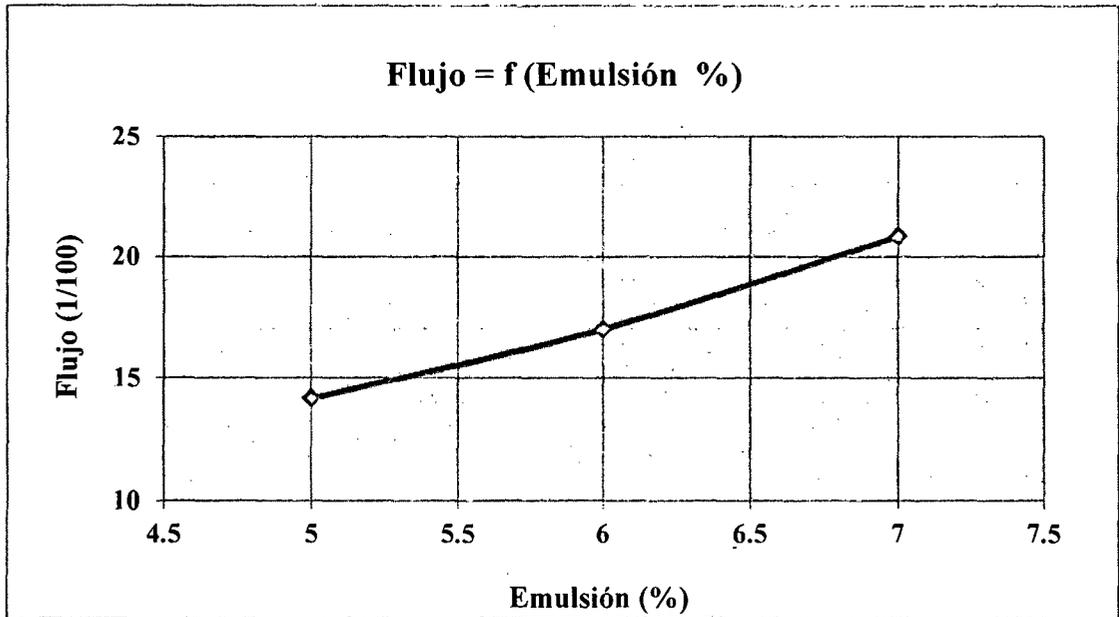
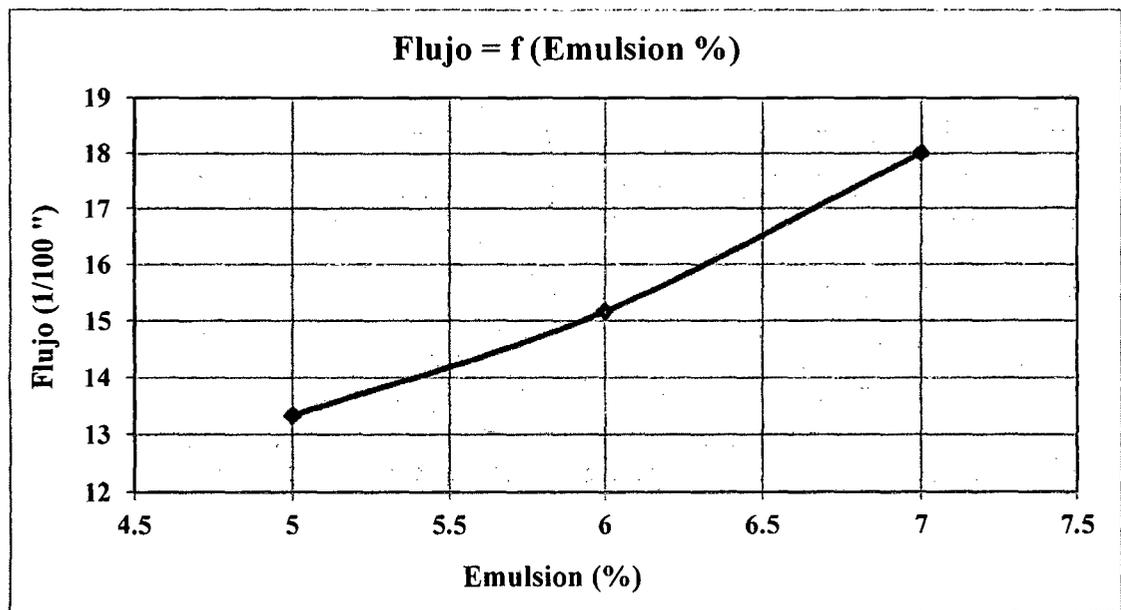


Figura 4-12 Flujo v/s Contenido de Emulsión Asfáltica Cantera El Cinco

Porcentaje de Emulsión	Flujo
%	(1/100")
5	13
6	15
7	18

Tabla 4-30 Flujo Cantera San Luis (60%) + Cachinche (40%)



**Figura 4-13 Flujo v/s Contenido de Emulsión Asfáltica Cantera San Luis (60%) + Cachinche (40%)**

Al graficar el Flujo vs el porcentaje de emulsión se forman funciones semejantes a funciones lineales con pendientes positivas; estas son funciones típicas para este tipo de materiales.

En las gráficas se puede observar que a un incremento de emulsión se incrementa el valor del flujo.

El valor para el flujo de la base estabilizada de la cantera Tres Tomas está entre 15 y 22 (1/100'') para los porcentajes ensayados con emulsión.

El valor para el flujo de la base estabilizada de la cantera El Cinco esta entre 14 y 21 (1/100'') para los porcentajes ensayados con emulsión.

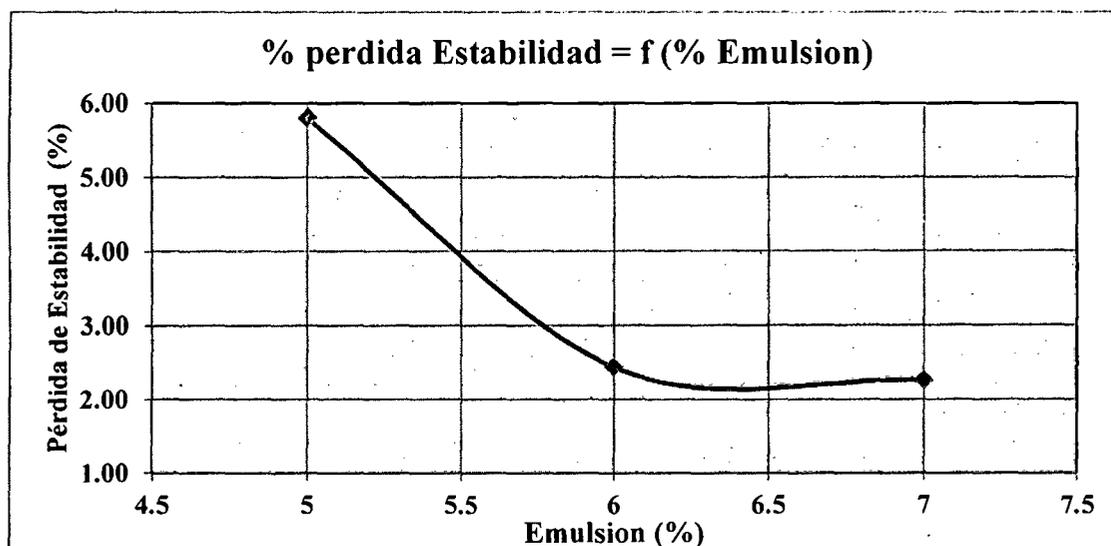
El valor para el flujo de la base estabilizada de la cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%) está entre 13 y 18 (1/100'') para los porcentajes ensayados con emulsión.

Los valores de flujo obtenidos serán aceptados; porque los valores propuestos para este tipo de aplicación deben ser de 5 a 18. (1/100'').

**PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE ESTABILIDAD**

Porcentaje de Emulsión	Estabilidad Seca Promedio	Estabilidad Saturada Promedio	Porcentaje Pérdida Estabilidad
%	Libs.min	Libs.min	%
5	2852	2695	5.80
6	2463	2404	2.44
7	2260	2210	2.26

**Tabla 4-31 Porcentaje de Pérdida de Estabilidad Cantera Tres Tomas**



**Figura 4-14 Porcentaje de Pérdida de Estabilidad Cantera Tres Tomas**

Porcentaje de Emulsión	Estabilidad Seca Promedio	Estabilidad Saturada Promedio	Porcentaje Pérdida Estabilidad
%	Libs.min	Libs.min	%
5	3244	2835	14.44
6	2573	2271	13.30
7	2282	2094	8.99

Tabla 4-32 Porcentaje de Pérdida de Estabilidad Cantera El Cinco

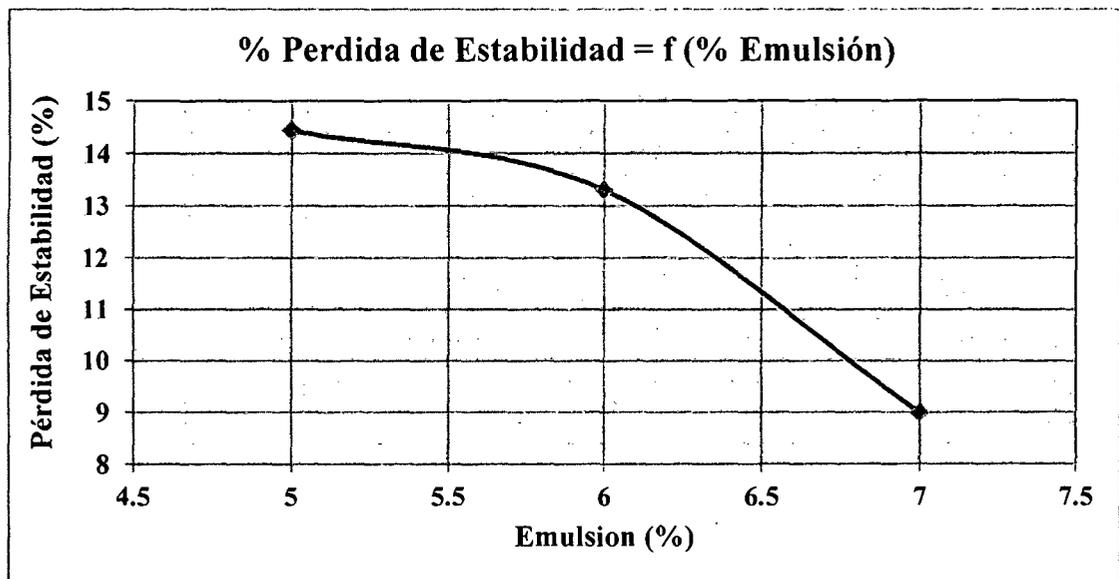


Figura 4-15 Porcentaje de Pérdida de Estabilidad Cantera El Cinco

Porcentaje de Emulsión	Estabilidad Seca Promedio	Estabilidad Saturada Promedio	Porcentaje Pérdida Estabilidad
%	Libs.min	Libs.min	%
5	2251	2126	5.91
6	2066	1966	5.09
7	1876	1820	3.11

Tabla 4-33 Porcentaje de Pérdida de Estabilidad Cantera San Luis (60%) + Cachinche (40%)

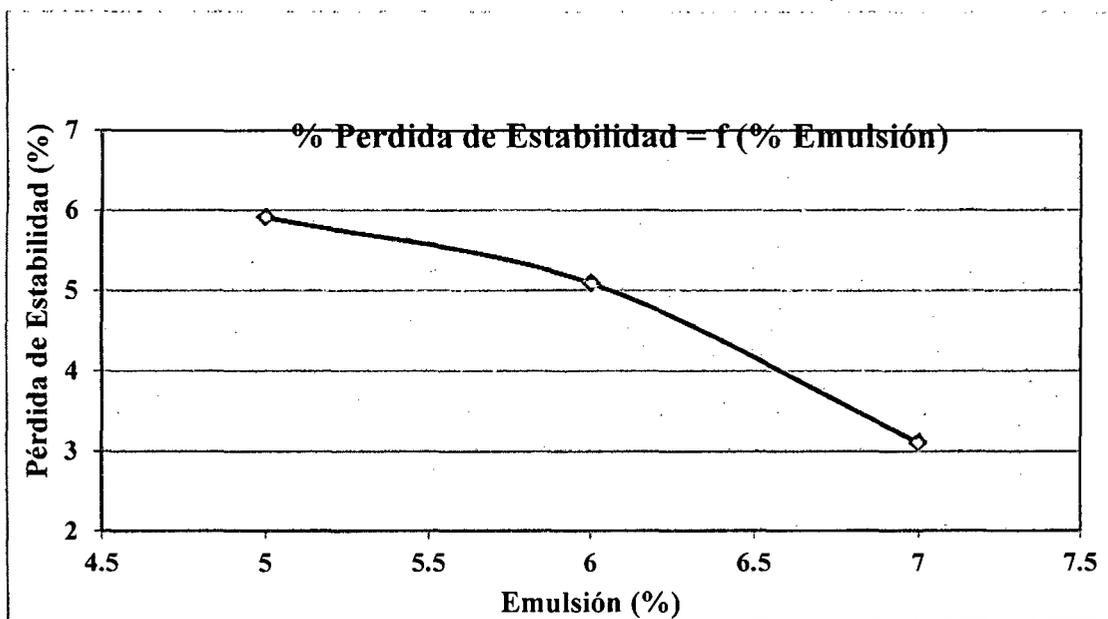


Figura 4-16 Porcentaje de Pérdida de Estabilidad Cantera San Luis (60%) +Cachinche (40%)

Al graficar las Pérdidas de Estabilidad vs el porcentaje de emulsión se forman unas curvas parabólicas; al no ser un parámetro de diseño obligado se controla que no supere el 25% del porcentaje de pérdida.

Como se puede ver en las gráficas al aumentar la cantidad de emulsión se ve una disminución en el porcentaje de pérdida de estabilidad.

La pérdida de estabilidad es aceptable para el porcentaje de emulsión de 5%. La base estabilizada con material granular de la cantera Tres Tomas tiene una pérdida de 5.80 %.

La pérdida de estabilidad es aceptable para el porcentaje de emulsión de 5%. La base estabilizada con material granular, cantera El Cinco tiene una pérdida de 14.44 %.

La pérdida de estabilidad es aceptable para el porcentaje de emulsión de 5%. La base estabilizada con material granular, cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%) tiene una pérdida de 5.91 %; para porcentajes mayores de Emulsión la Pérdida se reduce.

#### **4.3 CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO**

El contenido óptimo de asfalto residual es el resultado de realizar el análisis de todos los gráficos propuestos para la emulsión y convertir ese porcentaje óptimo de emulsión a porcentaje de asfalto residual, el porcentaje que existe de asfalto en la emulsión, en este caso 60%.

Existen muchos criterios para evaluar una mezcla asfáltica uno de estos criterios es el de promediar los valores recomendables de las propiedades evaluadas, en este caso particular de la estabilización de materiales se buscará el mínimo porcentaje de emulsión que cumpla un requerimiento.

Este valor óptimo debe ser definido según la mejor combinación de la estabilidad Marshall (seca y saturada), flujo y la densidad Bulk.

Para la determinación del valor óptimo de emulsión existen diferentes criterios según la aplicación, en este caso particular se toma el criterio que el porcentaje óptimo es el mínimo porcentaje que cumple con los requerimientos expuestos de 1798.95 lib.min de estabilidad y 5 a 18 (1/100") de flujo, que son las condiciones que se deben cumplir en nuestro país para este tipo de estabilizaciones.

Se demostró que existe influencia de la humedad en la Estabilidad de la base, para garantizar nuestro diseño, se tomaran los valores mínimos que garantizan las estabilidades saturadas de 1798.95 lib. min.

La densidad Bulk de la mezcla compactada es un parámetro de comparación no de diseño.

<b>Propiedad de la Base Estabilizada</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Porcentaje mínimo de Emulsión	5	%
Densidad Bulk	2377	Kg/cm3
Estabilidad	2773.5	Lib.min
Flujo	15	(1/100")
Porcentaje de Agua que se debe agregar (Pre-Mezcla)	4.054	%

**Tabla 4-34 Propiedades de la Base Estabilizada para el Porcentaje Mínimo de Emulsión Cantera Tres Tomas**

<b>Propiedad de la Base Estabilizada</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Porcentaje mínimo de Emulsión	5	%
Densidad Bulk	2354	Kg/cm3
Estabilidad	3039.67	Lib.min
Flujo	14	(1/100")
Porcentaje de Agua que se debe agregar (Pre-Mezcla)	5.16	%

**Tabla 4-35 Propiedades de la Base Estabilizada para el Porcentaje Mínimo de Emulsión Cantera El Cinco**

<b>Propiedad de la Base Estabilizada</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Porcentaje mínimo de Emulsión	5	%
Densidad Bulk	2356	Kg/cm <sup>3</sup>
Estabilidad	2188.5	Lib.min
Flujo	13	(1/100")
Porcentaje de Agua que se debe agregar (Pre-Mezcla)	4.39	%

**Tabla 4-36 Propiedades de la Base Estabilizada para el Porcentaje Mínimo de Emulsión Cantera San Luis (60%) + Cachinche (40%)**

## CAPITULO V

### 5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### INTRODUCCIÓN.

En éste capítulo se presenta un resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, realizados a las tres canteras en estudio, en base a los Manuales de carreteras del Ministerio de Transporte y comunicaciones; además en muchos casos se coincide con normas internacionales comúnmente aceptadas en nuestro medio como las normas ASTM y AASHTO , donde se establecen las especificaciones que deben cumplir los materiales granulares para su uso en bases estabilizadas con emulsión asfáltica y los ensayos de laboratorio de comprobación que sirvan para la aceptación de las mismas.

El presente análisis muestra los resultados basándonos propiedades de las bases estabilizada con emulsión según procedimientos propuestos por el Instituto del Asfalto en su publicación Manual Básico de Emulsiones.

Para el análisis de los datos se utilizaron procedimientos comunes como son la comparación de diferentes propiedades de la mezcla compactada contra el contenido de Emulsión Asfáltica.

Se determina la densidad Bulk de la mezcla compactada para las probetas como propiedad volumétrica importante de las briquetas elaboradas con la metodología Marshall Modificada para su uso en Mezclas Frías.

Con las propiedades de las mezclas compactadas y el parámetro volumétrico de la mezcla asfáltica, se determina el contenido óptimo de emulsión asfáltica, que será el mínimo para cumplir con las condiciones requeridas.

## 5.1 RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS

### 5.1.1 RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS CON LOS MATERIALES GRANULARES.

#### Análisis Granulométrico

Se realizaron pruebas granulométricas a las diferentes muestras de Material granular, extraídas de las canteras en estudio utilizando la norma ASTM D 422, AASHTO T 88, MTC E 107 - 20001, Comprobado el cumplimiento de normas se procede a la catalogación de este material para su uso como base estabilizada con emulsión.

Los resultados se exponen en las siguientes tablas

TAMIZ	AASHTO T-27 mm	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	38.100	105.56	2.11	2.11	97.89		
1"	25.400	467.53	9.35	11.46	88.54	75.00	95.00
3/4"	19.000	309.07	6.18	17.64	82.36		
1/2"	12.700	443.55	8.87	26.51	73.49		
3/8"	9.500	267.01	5.34	31.85	68.15	40.00	75.00
Nº 4	4.750	542.48	10.85	42.70	57.30	30.00	60.00
Nº 10	2.000	658.70	13.17	55.88	44.12	20.00	45.00
Nº 20	0.840	734.11	14.68	70.56	29.44		
Nº 40	0.425	552.76	11.06	81.62	18.38	15.00	30.00
Nº 50	0.300	282.52	5.65	87.27	12.73		
Nº 100	0.150	171.24	3.42	90.69	9.31		
Nº 200	0.075	126.29	2.53	93.22	6.78	5.00	15.00
< Nº 200	FONDO	339.18	6.78	100.00	0.00		

Tabla 5-1 Granulometría Cantera Tres tomas

TAMIZ	AASHTO T-27 mm	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	38.100	152.00	2.53	2.53	97.47		
1"	25.400	431.00	7.18	9.72	90.28	75.00	95.00
3/4"	19.000	520.00	8.67	18.38	81.62		
1/2"	12.700	587.00	9.78	28.17	71.83		
3/8"	9.500	455.00	7.58	35.75	64.25	40.00	75.00
Nº 4	4.750	616.56	10.28	46.03	53.97	30.00	60.00
Nº 10	2.000	741.00	12.35	58.38	41.62	20.00	45.00
Nº 20	0.840	720.00	12.00	70.38	29.62		
Nº 40	0.425	780.00	13.00	83.38	16.62	15.00	30.00
Nº 50	0.300	298.00	4.97	88.34	11.66		
Nº 80	0.177	0.00	0.00	88.34	11.66		
Nº 100	0.150	214.00	3.57	91.91	8.09		
Nº 200	0.075	120.00	2.00	93.91	6.09	5.00	15.00
< Nº 200	FONDO	366.00	6.10	100.00	0.00		
SUMATORIA		6000.56			100.00		

**Tabla 5-2 Granulometría Cantera El Cinco**

TAMIZ	AASHTO T-27 mm	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	38.100	205.00	4.10	4.10	95.90		
1"	25.400	520.00	10.40	14.50	85.50	75.00	95.00
3/4"	19.000	395.00	7.90	22.40	77.60		
1/2"	12.700	543.00	10.86	33.26	66.74		
3/8"	9.500	430.00	8.60	41.86	58.14	40.00	75.00
Nº 4	4.750	354.00	7.08	48.94	51.06	30.00	60.00
Nº 10	2.000	450.00	8.44	57.38	42.62	20.00	45.00
Nº 20	0.840	270.00	5.06	62.45	37.55		
Nº 40	0.425	685.00	12.85	75.30	24.70	15.00	30.00
Nº 50	0.300	485.00	9.10	84.39	15.61		
Nº 100	0.150	525.00	9.85	94.24	5.76		
Nº 200	0.075	10.00	0.19	94.43	5.57	5.00	15.00
< Nº 200	FONDO	163.00	3.06	97.49	2.51		

**Tabla 5-3 Granulometría Cantera San Luis (60%) + Cachinche (40%)  
Resumen de las Propiedades Ensayadas**

Propiedad	Norma	Valor Obtenido
<b>Límites de Atterberg</b>		
Limite Liquido	MTC E 110 – 2000, ASTM D 4318, AASHTO T 89.	19.46 %
Limite Plástico	MTC E 111 – 2000, ASTM 4318, AASHTO T90.	17.30 %
Índice Plástico	MTC E 111 – 2000, ASTM 4318, AASHTO T90.	2.16 %
<b>Equivalente de Arena</b>	MTC E 114 – 2000, ASTM 2419, AASHTO T 176.	80 %
<b>Próctor Modificado</b>		
Máxima Densidad Seca	MTC E 115 – 2000, ASTM D 1557	2130 Kg/m3
Humedad Óptima	MTC E 115 – 2000, ASTM D 1557	6 %
<b>Ensayo CBR</b>	MTC E 132 – 2000, ASTM D 1883, AASHTO T 193.	AI 100 % = 86.94 %
<b>Abrasión</b>	MTC E 207 -2000, ASTM C 131.	13.3 %

**Tabla 5-4 Resumen de Propiedades Ensayadas Cantera Tres Tomas**

Propiedad	Norma	Valor Obtenido
<b>Límites de Atterberg</b>		
Limite Liquido	MTC E 110 – 2000, ASTM D 4318, AASHTO T 89.	15.93 %
Limite Plástico	MTC E 111 – 2000, ASTM 4318, AASHTO T90.	14.71 %
Índice Plástico	MTC E 111 – 2000, ASTM 4318, AASHTO T90.	1.22 %
<b>Equivalente de Arena</b>	MTC E 114 – 2000, ASTM 2419, AASHTO T 176.	86.31 %
<b>Próctor Modificado</b>		
Máxima Densidad Seca	MTC E 115 – 2000, ASTM D 1557	2100 Kg/m3
Humedad Óptima	MTC E 115 – 2000, ASTM D 1557	6.50 %
<b>Ensayo CBR</b>	MTC E 132 – 2000, ASTM D 1883, AASHTO T 193.	AI 100 % = 75.75 %
<b>Abrasión</b>	MTC E 207 -2000, ASTM C 131	14.6 %

**Tabla 5-5 Resumen de Propiedades Ensayadas Cantera El Cinco**

Propiedad	Norma	Valor Obtenido
<b>Límites de Atterberg</b>		
Limite Liquido	MTC E 110 – 2000, ASTM D 4318, AASHTO T 89.	17.13 %
Limite Plástico	MTC E 111 – 2000, ASTM 4318, AASHTO T90.	13.48 %
Índice Plástico	MTC E 111 – 2000, ASTM 4318, AASHTO T90.	3.65 %
Equivalente de Arena	MTC E 114 – 2000, ASTM 2419, AASHTO T 176.	73.37 %
<b>Próctor Modificado</b>		
Máxima Densidad Seca	MTC E 115 – 2000, ASTM D 1557	2117 Kg/m3
Humedad Óptima	MTC E 115 – 2000, ASTM D 1557	6.20 %
Ensayo CBR	MTC E 132 – 2000, ASTM D 1883, AASHTO T 193.	A1 100 % = 68.83 %
Abrasión	MTC E 207 -2000, ASTM C 131	19.10 %

**Tabla 5-6 Resumen de Propiedades Ensayadas Cantera San Luis (60%) + Cachinche (40%)**

### 5.1.2 RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS CON LAS BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

Previo a la compactación de las probetas, el Método seguido sugiere una serie de ensayos importantes que deben ser realizados, en las siguientes tablas se indica los valores obtenidos

Ensayo	Resultado
Recubrimiento ( 6.44% Emulsión Tentativo)	Mínimo Aceptable 5 %, Humedad
Adherencia (6.44% Emulsión Tentativo)	Mínimo Aceptable 5 %, Humedad

**Tabla 5-7 Ensayos de Recubrimiento y Adherencia a la Base con Emulsión Asfáltica (Cantera Tres Tomas)**

Ensayo	Resultado
Recubrimiento ( 6.16% Emulsión Tentativo)	Mínimo Aceptable 6 %, Humedad
Adherencia (6.16% Emulsión Tentativo)	Mínimo Aceptable 6 %, Humedad

**Tabla 5-8 Ensayos de Recubrimiento y Adherencia a la Base con Emulsión Asfáltica (Cantera El Cinco)**

Ensayo	Resultado
Recubrimiento ( 5.92% Emulsión Tentativo)	Mínimo Aceptable 5.50 %, Humedad
Adherencia (5.92% Emulsión Tentativo)	Mínimo Aceptable 5.50 %, Humedad

**Tabla 5-9 Ensayos de Recubrimiento y Adherencia a la Base con Emulsión Asfáltica (Cantera El Cinco)**

Procedencia	Cantera Tres Tomas		Cantera El Cinco		Cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%)	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
<b>Propiedad de la Base Estabilizada</b>						
<b>Porcentaje Mínimo de Emulsión</b>	5	%	5	%	5	%
<b>Densidad Bulk</b>	2377	Kg/m3	2354	Kg/m3	2356	Kg/m3
<b>Estabilidad Seca</b>	2773.5	Lbs.min	3039.67	Lbs.min	2188.5	Lbs.min
<b>Flujo</b>	15	(1/100")	14	(1/100")	13	(1/100")
<b>Porcentaje de Agua que se debe agregar ( Pre-Mezcla)</b>	4.054	%	5.16	%	4.39	%

**Tabla 5-10 Propiedades de las Base Estabilizadas para el Porcentaje Mínimo de Emulsión**

## 5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y GRÁFICOS

De los resultados expuestos anteriormente se realiza el análisis primeramente del ¿por qué es necesario estabilizar este tipo de materiales granulares para el uso requerido?, comparándolo con las normas establecidas por los manuales de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia, y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos y Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013).

Existen valores de ensayos que no tienen una comparación con la norma por este motivo no se los analizará, pero son útiles para otras etapas como en el diseño.

Posteriormente se analiza los valores obtenidos con la estabilización para determinar el porcentaje óptimo de emulsión.

### **5.2.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Al analizar los resultados del análisis granulométrico se puede observar claramente que estamos trabajando con partículas pasantes del tamiz de 1 ½ pulgadas hasta pasante del tamiz N° 200.

EL análisis granulométrico realizado a los materiales granulares de la Cantera Tres Tomas y Cantera El Cinco presenta una granulometría continua, bien graduada y según los requerimientos de una de las franjas granulométricas (Gradación B)

Para el material granular de la cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%) fue necesaria esta combinación para llegar a cumplir las especificaciones pedidas por el manual de carreteras.

Se catalogó a los materiales granulares como: Material Granular GRADACIÓN B propuesta por el Manual de Carreteras EG 2013.

Para la utilización del método propuesto por el Instituto Americano del Asfalto para la estabilización de este tipo de material también se cumplió con la granulometría propuesta para estos materiales.

### **5.2.2 PROPIEDADES REQUERIDAS POR EL MANUAL DE CARRETERAS EG 2013 PARA ACEPTACIÓN DE MATERIALES GRANULARES**

El porcentaje de desgaste a la abrasión es un limitante para la aceptación de materiales granulares, con los materiales utilizados se superó para la Cantera Tres Tomas se tuvo un 13.3% de desgaste, La Cantera El Cinco se tuvo un 14.6% de desgaste y para la Cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%) se tuvo un 19.10% de desgaste.

El equivalente de arena se realiza con los agregados pasantes del tamiz 4.75 mm, debe tener un valor mínimo de 35%, el material de la Cantera Tres Tomas tuvo un valor de 80%, Cantera El Cinco Tuvo un valor 86.31% y La Cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%) tuvo un valor de 73.37% , esta propiedad es aceptada.

El índice plástico se determinó con la diferencia entre el límite plástico y el límite líquido, se lo determina con el pasante del Tamiz N° 40 (0.425 mm), este índice debe ser menor a 4, para los materiales granulares de la Cantera Tres Tomas IP es igual a 2.16%, Cantera El Cinco IP es Igual a 1.22% y Cantera San Luis (60%) y Cantera Cachinche (40%) IP es igual a 3.65 %.

El ensayo Próctor Modificado sirve para la determinación de la humedad óptima de compactación y la densidad máxima seca, no especifica para este uso, sin embargo es muy utilizada con bases granulares; se realiza bajo la norma MTC E 115 – 2000, ASTM D 1557, para los materiales granulares de la Cantera Tres Tomas se obtuvo los siguientes valores: Máxima Densidad Seca 2130 Kg/m<sup>3</sup> y Humedad Óptima 6 % , Cantera El Cinco se obtuvo los siguientes valores: Máxima Densidad Seca 2100 Kg/m<sup>3</sup> y Humedad Óptima 6.5 % y para los materiales granulares de la Cantera San Luis (60%) y Cantera Cachinche (40%) se obtuvo los siguientes valores: Máxima Densidad Seca 2117 Kg/m<sup>3</sup> y Humedad Óptima 6.20%.

El ensayo CBR es un indicador de capacidad portante del suelo, en este caso de los materiales granulares, se lo realiza bajo la norma MTC E 132 – 2000, ASTM D 1883, AASHTO T 193. no es necesario para bases estabilizadas, pero si es tomado para el caso de bases granulares, el Manual de Carreteras EG 2013 sugiere que debe ser cumplido al 100% en bases, para bases es común utilizar un valor mínimo de 80%. El ensayo CBR dio como resultado para los materiales granulares utilizados para la Cantera Tres Tomas 86.94%, para la Cantera El Cinco

75.75% y para la Cantera San Luis (60%) y Cantera Cachinche (40%) 68.83%, este resultado indica que son bases pobres en resistencia, sin embargo no están tan lejanas de los mínimos.

### **5.2.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS CON LAS BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA**

Previo a la compactación de las probetas, el Método seguido sugiere una serie de ensayos importantes que deben ser realizados, en las siguientes tablas se indica los valores obtenidos.

#### **Resumen de Propiedades Previas a La Compactación de Las Probetas**

El ensayo de Recubrimiento se realizó manteniendo constante el porcentaje tentativo de emulsión calculada de forma teórica, teniendo en cuenta la granulometrías del material granular, se determinó realizarlo con 6.44%, 6.16% y 5.92% de emulsión para la Cantera Tres Tomas, Cantera El Cinco, Cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%) respectivamente, se fue agregando diferente cantidad de agua, partiendo del porcentaje de humedad obtenida en el ensayo Próctor Modificado y tomando en cuenta la cantidad de agua que posee la emulsión.

Con valores inferiores al 5 % de Humedad no hubo una cobertura adecuada con el material granular de la Cantera Tres Tomas, para la cantera El Cinco valores inferiores al 6% de humedad no se apreció una cobertura adecuada, para el material granular de la cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%) menores al 5.50% de humedad no se observó una cobertura adecuada, para cantidades superiores se notó un buen recubrimiento pero un exceso de emulsión.

### **Análisis de Las Propiedades de Mezclas Compactadas con Equipo Marshall**

La determinación del contenido óptimo de emulsión para que se cumplan requerimientos de diseño es el objetivo buscado, de un diseño Marshall, de los resultados de los ensayos se concluye que para porcentajes menores de 5% de emulsión en el caso de las Base Estabilizada con materiales granulares de las canteras Tres Tomas, El Cinco, San Luis (60%) y Cachinche (40%). No cumplirán con las especificaciones propuestas para este tipo de estabilizaciones.

Se demostró que para valores superiores al contenido óptimo de emulsión disminuye el desempeño de la base estabilizada.

Los materiales granulares conformada por la cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%) presentan una disminución de estabilidad y flujo en comparación con la cantera Tres tomas y el Cinco debido la granulometría del material.

El valor de Flujo es 13, 14 y 15 para las canteras Tres tomas, El cinco; San Luis (60%) y Cachinche (40%) respectivamente; mayor cantidad de emulsión mejora el flujo.

### **5.3 TOLERANCIA Y ACEPTACIÓN DE RESULTADOS**

La aceptación del diseño de la bases estabilizada se realiza comparando con los criterios establecidos por el Manuales de carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones que establece los requisitos que debe cumplir la mezcla asfáltica a una temperatura de 25 °C; Los criterios anteriormente expuestos de Estabilidad Marshall de 1800 lib. Min y Flujo de 5 a 18 (1/100”).

La estabilidad saturada de 1800 lib.min se consiguió con la base estabilizada con el material granular de la cantera Tres Tomas al agregar 5 % de

emulsión; para porcentajes inferiores de emulsión se rechaza la estabilización.

La estabilidad saturada de 1800 lib.min se consiguió con la base estabilizada con el material granular de la cantera El Cinco al agregar 5 % de emulsión; para porcentajes inferiores de emulsión se rechaza la estabilización.

La estabilidad saturada de 1800 lib.min se consiguió con la base estabilizada con el material granular de la Cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%) al agregar 5 % de emulsión; para porcentajes inferiores de emulsión se rechaza la estabilización.

El flujo mínimo de la mezcla de la base estabilizada con el material granular de la Cantera Tres Tomas es 15 (1/100") que se encuentra en el rango 5 -18 (1/100").

El flujo mínimo de la mezcla de la base estabilizada con el material granular de la Cantera el Cinco es 14 (1/100") que se encuentra en el rango 5 -18 (1/100").

El flujo mínimo de la mezcla de la base estabilizada con el material granular de la Cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%) es 13 (1/100") que se encuentra en el rango 5 -18 (1/100").

#### **Cantidad de Emulsión**

El instituto del Asfalto en su publicación: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS N° 19 S, propone un rango de porcentajes para la estabilización de este tipo de materiales, este porcentaje está entre 4 a 8 %.

Los porcentajes obtenidos se encuentran en este rango.

La cantidad de asfalto residual es un aspecto importante, en la relación costo beneficio, por experiencias con trabajos anteriores se ha determinado y adoptado como el 3% de Asfalto residual una cantidad mínima que garantiza

un costo beneficio. Para valores superiores el beneficio de la estabilización de este tipo de materiales encarece el costo.

Como se estableció en las propiedades de la emulsión, de forma general la relación asfalto y agua es de 60% a 40%.

La cantidad de asfalto residual para la base estabilizada con los materiales granulares de las Canteras Tres Tomas, El Cinco, San Luis (60%) y Cachinche (40%), es el 60% de la cantidad de emulsión asfáltica, esto es 5 % de emulsión, se tiene un asfalto residual 3 %

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- ✓ Se determinó el porcentaje tentativo de emulsión, calculada de forma teórica, teniendo en cuenta la granulometría de cada material granular, obteniendo los siguientes resultados 6.44 % de la cantera Tres Tomas, 6.16 % de la cantera El Cinco, 5.92 % de la cantera San Luis (60%) + Cachinche (40%), partiendo del porcentaje de humedad obtenida en el ensayo Proctor Modificado y tomando en cuenta la cantidad de agua que posee la emulsión.
- ✓ Se elaboraron seis briquetas para cada porcentaje de Emulsión Asfáltica (5%, 6%, 7%), de las cuales la mitad se utilizó para la estabilidad seca y las otras tres para estabilidad saturada de las canteras Tres Tomas, El Cinco, San Luis (60%) + Cachinche (40%), donde los materiales estabilizados de cada cantera superaron los valores mínimos de diseño de 1800 libras.min.
- ✓ Utilizando la mezcla de emulsión asfáltica (Catiónica de Rotura Lenta CSS -1H) y el material granular de cada cantera se cumplió con los valores mínimos establecidos en el manual básico de emulsión asfáltica N° 19 , se establece el uso de los siguientes porcentajes:
  - Para la base estabilizada con emulsión y los materiales granulares cantera Tres Tomas, el porcentaje mínimo de emulsión es de 5 % y Agua 5 %.
  - Para la base estabilizada con emulsión y los materiales granulares cantera El Cinco, el porcentaje mínimo de emulsión es de 5 % y Agua 6 %.
  - Para la base estabilizada con emulsión y los materiales granulares cantera San Luis (60%) y Cachinche (40%), el porcentaje mínimo de emulsión es de 5 % y Agua 5.50 %.
  - Utilizar los materiales granulares de la cantera el cinco, Tres Tomas y San Luis (60%) + Cachinche (40%) para la estabilización de bases, en

la región Lambayeque por presentar mayor estabilidad y durabilidad para un pavimento

## **6.2 RECOMENDACIONES**

- ✓ Tener en cuenta la rotura de la emulsión asfáltica, en la mezcla para obtener resultados similares al de este proyecto de tesis.
- ✓ Utilizar emulsiones asfálticas, porque desde el punto de vista ecológico lo único que libera al medio es agua, por este motivo no es inflamable y las emanaciones de vapores de hidrocarburos hacia la atmosfera son casi nulas.
- ✓ Aplicar la técnica de la preparación para mezclas en frio con emulsiones asfálticas ya que con un correcto curado obtenemos resultados que superan los límites de diseño En los diferentes usos de las emulsiones asfálticas, el de mezclas frías como tanto en estabilizaciones y mezclas asfálticas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASPHALT INSTITUTE. (s.f.). Manual Serie N° 14, MS 14. Lexington.
- ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (1979). A Basic Asphalt Emulsion Manual, MS N° 19. Lexington.
- ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001). Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS N° 19S. Lexington.
- AVILA, A. (2004). Mecánica de Suelos. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- BRACHO, C. L. (2005). Cuaderno FIRP S366C Emulsiones asfálticas. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.
- CARRASCO FLORES, D. O. (2004). Estudio comparativo entre mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas con emulsiones Tibias. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Piura.
- CINCIRE, V. (29 de Marzo de 2009). Estabilización de Materiales para Capas de Base. Tabasco, Tabasco, México.
- CORREDOR, G. (2005). Apuntes de Pavimentos (2005 ed., Vol. Volumen 2; Mezclas Asfálticas Materiales y Diseño). Venezuela.
- GONZÁLES ESCOBAR, Wilfredo; y otros. (noviembre 2007). Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas en la estabilización de bases en caminos de baja intensidad en El Salvador, Trabajo de Graduación. Escuela de Ingeniería UES.
- GUEVARA PALMA, M. R., MÉNDEZ DELGADO, H. A., & PIMENTEL GOMEZ, J. C. (2010). Tesis "Diseño De Mezclas Asfálticas Densas En Frio Basado En El Método Marshall Modificado de Universidad de Illinois". El Salvador: Universidad De El Salvador, Facultad Multidisciplinaria De <http://www.emulsionesasfalticas.com/>. (s.f.). Obtenido de <http://www.emulsionesasfalticas.com/carpetasenfrio.htm>.
- JUÁREZ BADILLO, E., & RICO RODRÍGUEZ, A. (1986). Mecánica de suelos, tomos I. México: Limusa.
- MERCADO, R., BRACHO, C., & AVENDAÑO, J. (2008). Cuaderno FIRP S365-A; Emulsiones Asfálticas, Usos- Rompimientos. Mérida,

Venezuela: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.

MINAYA GONZALES, S., & ORDÓÑEZ HUAMAN, A. (2001). Manual de Laboratorio, Ensayos para Pavimentos Volumen I. Lima.

MANUALES DE CARRETERAS DEL MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONE: MANUAL DE CARRETERAS “Especificaciones Técnicas Generales de Construcción” (EG-2013) Y EL MANUAL DE CARRETERAS “Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos”

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES;. (s.f.). Método Marshall. En Curso de Capacitación en Materiales de Pruebas de Laboratorio para Obras de Vías Terrestres. México.

WWW.GOOGLE.COM. (2015). Google Earth V6.2.