

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE ÁRIDOS DEL SECTOR EL MILAGRO ESTABILIZADOS CON ASFALTO DE CAUCHO RECICLADO Y ASFALTO CONVENCIONAL PARA CAPAS BASES”.**

**TESIS**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO CIVIL

LINEA DE INVESTIGACION: TRANSPORTE

AUTORES : BR. JIM JULIO GUEVARA PAJARES.  
BR. ROBERTO CARLOS RUIZ VELÁSQUEZ.

ASESOR : ING. JUAN PAUL HENRIQUEZ ULLOA.

**TRUJILLO, DICIEMBRE DEL 2016**

## PRESENTACIÓN

Señores Miembros del jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, es grato poner a vuestra consideración, el presente trabajo de investigación titulado: “Análisis comparativo de áridos del sector el milagro estabilizados con asfalto de caucho reciclado y asfalto convencional para capas bases”. con el propósito de obtener el Título Profesional e Ingeniero Civil.

El contenido de la presente tesis ha sido desarrollado considerando las normas establecidas en el ASTM (American Society for Testing and Materiales ), normas técnicas de acuerdo a la línea de investigación, la aplicación de conocimientos adquiridos durante la formación profesional en la Universidad, consulta de fuentes bibliograficas especializadas y con la experiencia del asesor.

---

Br. Ruiz Velasquez, Roberto Carlos

---

Br. Guevara Pajares, Jim Julio

## DEDICATORIA

En primer lugar quiero dedicar este trabajo de investigación a mi Dios, mi padre celestial, por estar a mi lado en cada etapa de mi vida porque me dio las fuerzas necesarias para cada momento que caí y saber seguir adelante, por ser mi testigo, mi escudo y trazar el camino por los que mis pies avanzan y en el que mi mente y corazón viven.

También quiero hacer una mención especial a mis padres: Elizabeth Leyla y Segundo Ancelmo que trabajaron con mucho esfuerzo para ayudarme en este camino largo que emprendí y llegar a ser un profesional, mil gracias por acompañarme en este proceso, por sobre todo, el amor que me brindaron, comprensión, paciencia y fortaleza que permitieron que pudiese llegar a buen puerto.

Finalmente quisiera dedicar este trabajo a mi hermano Andres Emilio por su confianza depositada en mí.

Br. Roberto Carlos Ruiz Velásquez

## DEDICATORIA

El trabajo realizado es dedicado a Dios y al esfuerzo de mis padres: Julio Guevara y Nilda Pajares, que con su sacrificio han podido forjarme hasta donde estoy y seguir apoyandome incondicionalmente con todos mis propósitos.

Esta dedicatoria tampoco puede pasar por alto a la memoria de mi abuelo Estuardo Pajares Camacho que desde pequeño me incentivó a que luche por mis sueños, cultivar los valores formados en nuestra familia en el ámbito profesional y nunca dejar de prepararme para la vida.

Mi sincero agradecimiento a mis compañeros que compartieron estos años y al igual que yo siguen cumpliendo sus metas con mucho entusiasmo, empeño y actitud para aportar mucho mas a nuestra sociedad.

Br. Jim Julio Guevara Pajares

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos principalmente a nuestros padres y familiares que nos dieron su confianza y apoyo en todo momento.

Nuestro más profundo agradecimiento a nuestro fiel amigo, Ingeniero Jean Paul Enríquez Ulloa, por ser uno de los mejores ingenieros de esta escuela, por su esfuerzo en hacer relucir lo mejor de nosotros mismos, por su crítica certera, por las conversaciones, porque a veces simplemente escuchó, por su preocupación que iba desde lo académico a lo cotidiano, por ende de lo intangible a lo concreto.

A Nuestra Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, por el apoyo brindado en la etapa de nuestra titulación.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que a lo largo de la formación académica nos inculcaron la dedicación al estudio y la constancia personal.

## RESUMEN

Las necesidades y exigencias de las ciudades, han permitido que las técnicas actuales en el campo de la construcción de caminos cumplan con las exigencias de los usuarios y clientes, hoy en día los productos asfálticos han tenido un gran desarrollo y se cuenta con nuevos productos para modificarlos, obtenidos de la realización de pruebas en los diferentes materiales que conforman un asfalto.

Las características de estos modificadores permiten el empleo de casi todos los tipos. El motivo del presente trabajo, fue realizado con el fin de investigar los Asfaltos Modificados con el uso de Caucho Reciclado de Llantas y su comportamiento físico-mecánico frente a las capas bases. evaluandolos con ensayos de laboratorio, para determinar su utilización en la pavimentación de carreteras.

Se evalúan las ventajas y desventajas, costo/beneficio, que representa el uso de esta mezcla y cómo contribuyen a la reducción de la deformación por fatiga del asfalto. En diferentes países vecinos esta técnica se está usando desde años atrás, con resultados exitosos que benefician a los usuarios y ayudan a la sostenibilidad del medio ambiente por usar llantas en desuso que son tiradas a los botaderos.

En nuestro país por falta de información no se usa este tipo de asfalto modificado, es por eso que este proyecto ayudará a la difusión de este tema.

## ABSTRACT

The needs and demands of cities, have allowed the current techniques in the field of road construction meet the requirements of users and customers, today's asphalt products have had great development and has new products to modify them, obtained from the testing of the different materials that make up an asphalt.

The characteristics of these switches allow the use of almost all types. The reason of this work was performed in order to investigate the modified asphalts using Recycled Rubber Tire and physical-mechanical behavior towards the foundation layers. evaluating them with laboratory tests to detreminar use in road paving.

The advantages and disadvantages, cost / benefit, which represents the use of this mixture are evaluated; the physical-mechanical thereof and how they contribute to reducing fatigue deformation of asphalt. properties In various neighboring countries this technique is being used from atraz years, with successful resusltados that benefit users and contribute to sustainability of the environment by using waste tires are thrown at the dumps.

In our country due to lack of information is not this kind of modified asphalt is used, that is why this project will help the spread of this issue.

## INDICE

<b>CAPITULO I INTRODUCCION.....</b>	<b>15</b>
1.1 Planteamiento del Problema.....	15
1.2 Delimitación.....	16
1.3 Características y análisis del problema.....	16
1.4 Formulación del problema:.....	17
1.5 Hipótesis.....	17
1.5.1 Variables.....	17
1.6 Objetivos.....	17
1.6.1 General.....	17
1.6.2 Específicos.....	17
1.7 Justificación de la investigación.....	18
1.7.1 Justificación académica.....	18
1.7.2 Justificación Técnica.....	18
1.7.3 Justificación social.....	18
1.8 Limitación del estudio.....	18
<b>CAPITULO II. MARCO TEORICO.....</b>	<b>18</b>
2.1 Antecedentes.....	18
2.2 Bases Teóricas:.....	22
2.2.1 Asfalto convencional.....	22
2.2.1.1 Composición Química.....	23
2.2.1.2 Propiedades físicas del asfalto.....	24
2.2.1.3 Características.....	24
2.2.1.4 Durabilidad Adhesión y cohesión:.....	25
2.2.1.5 Adhesión y cohesión:.....	27
2.2.1.6 Endurecimiento y Envejecimiento.....	27
2.2.2 Asfalto modificado.....	28
2.2.2.1 Definición.....	28
2.2.2.2 Características.....	28
2.2.2.3 Clasificación.....	28
2.2.2.3.1 Asfalto modificado AM1.....	28



2.2.2.3.1	Asfalto	modificado	
AM2.....			28
2.2.2.3.1	Asfalto modificado AM3.....		28
2.2.2.3.1	Asfalto modificado AM4.....		29
2.2.2.4	Razones para usar modificadores de asfalto.....		29
2.2.2.4.1	Deformación de carpeta asfáltica.....		29
2.2.2.5	Agentes modificadores de asfalto.....		29
2.2.2.5.1	Hule molido de llanta.....		30
2.2.2.5.1.1	Composición.....		30
2.2.2.5.1.2	Procesos para la Obtención de hule molido.....		32
2.2.2.5.2	Polímeros.....		33
2.2.2.5.2.1	Los Elastómeros.....		34
2.2.2.5.2.2	Los Plastómeros.....		35
2.2.2.6	Ventajas del uso de asfalto modificado.....		37
2.2.2.6.1	Mecánicas.....		37
2.2.2.6.2	Térmicas.....		38
2.2.2.6.3	Económicas.....		38
2.2.2.7	Proceso de modificación del asfalto.....		38
2.2.2.7.1	Proceso por vía seca.....		39
2.2.2.7.2	Genérica.....		39
2.2.2.7.3	Proceso por vía húmeda.....		40
2.2.2.7.4	Tecnología por bachadas.....		41
2.2.2.7.5	Tecnología continúa.....		41
2.2.2.8	Aplicación de la mezcla.....		41
2.2.3	Fallas en Pavimentos Flexibles.....		43
2.2.3.1	Grietas de contracción o de bloque.....		44
2.2.3.2	Piel de cocodrilo.....		45
2.2.3.2.1	Nivel de severidad bajo.....		46
2.2.3.2.2	Nivel de severidad medio.....		46
2.2.3.2.3	Nivel de severidad alto.....		47
2.2.3.3	Manchas en pavimentos.....		47
2.2.3.4	Corrugaciones.....		48
2.2.3.5	Grietas de borde.....		48
2.2.3.6	Ahuellamiento.....		49

2.2.3.7 Baches.....	50
2.2.4 Bases estabilizadas.....	50
2.2.4.1 Definición.....	50
2.2.4.2 Bases estabilizadas con cemento.....	50
2.2.4.2.1 Técnicas de estabilización con cemento.....	51
2.2.4.3 Bases estabilizadas con emulsión asfáltica.....	53
2.2.4.3.1 Materiales.....	53
2.2.4.3.1.1 Agregados Pétreos.....	53
2.2.4.3.1.2 Suelos.....	54
2.2.4.3.1.3 Materiales bituminosos.....	55
2.2.4.3.1.4 Agua.....	56
2.2.4.4 Beneficios.....	56
2.3 Definición de términos.....	56
<b>CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODO.....</b>	<b>60</b>
3. Materiales Y Método.....	60
3.1. Materiales.....	60
3.1.1 Población.....	60
3.1.2 Muestra.....	60
3.1.2.1 Caucho de llanta triturada.....	60
3.1.2.2 Hormigón – afirmado.....	62
3.1.3 Unidad de análisis.....	63
3.2. Método.....	63
3.2.1 Nivel de investigación.....	63
3.2.2 Diseño de investigación.....	63
3.2.3 Variables de estudio y operacionalización.....	64
<b>CAPITULO IV ENSAYOS DE LABORATORIO.....</b>	<b>64</b>
4.1 Penetración.....	64
4.1.1 Definición.....	64
4.1.2 Equipo.....	65
4.1.3 Procedimiento de la Prueba.....	67

4.1.4 Cálculos.....	69
4.2 Punto de Ablandamiento por anillo y esfera (ASTM D 36).....	69
4.2.1 Definición.....	69
4.2.2 Equipo.....	70
4.2.3 Procedimiento.....	74
4.2.4 Cálculos.....	75
4.3 Recuperación elástica por torsión (CEDES NLT – 329 – 91).....	75
4.3.1 Definición.....	75
4.3.2 Equipos.....	75
4.3.3 Procedimiento.....	76
4.3.4 Cálculos.....	77
4.4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO.....	78
4.4.1 Definición.....	78
4.4.2 Equipos.....	78
4.4.3 Procedimiento.....	79
4.4.4 Cálculos.....	82
4.5 DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO.....	83
4.5.1 Definición.....	83
4.5.2 Equipos.....	83
4.5.3 Procedimiento.....	84
4.5.4 Cálculos.....	87
4.6 DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD.....	88
4.6.1 Definición.....	88
4.6.2 Equipos.....	88
4.6.3 Procedimiento.....	88
4.6.4 Cálculos.....	89
4.7 DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO.....	90
4.7.1 Definición.....	90
4.7.2 Equipos.....	90
4.7.3 Procedimiento.....	91
4.7.4 Cálculos.....	92
4.8 DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO.....	92
4.8.1 Definición.....	92
4.8.2 Equipos.....	93

4.8.3 Procedimiento.....	93
4.8.4 Cálculos.....	94
4.9 CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR).....	94
4.9.1 Definición.....	94
4.9.2 Equipos.....	95
4.9.3 Procedimiento.....	96
4.9.4 Cálculos.....	99
4.10 COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO ENERGÍA MODIFICADA ( PROCTOR MODIFICADO).....	99
4.10.1 Definicion.....	99
4.10.2 Equipo.....	100
4.10.3 Procedimiento.....	101
4.10.4 Cálculos.....	104
4.11 MÉTODO MARSHALL.....	106
4.11.1 Definición.....	106
4.11.2 Equipos.....	106
4.11.3 Procedimiento.....	107
4.11.4 Cálculos.....	108
<b>CAPITULO V RESULTADOS.....</b>	<b>109</b>
<b>CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>115</b>
<b>CAPITULO VIII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>118</b>

## INDICE DE CUADROS

Tabla N° 01	Tipo de Bitúmenes
Tabla N° 02	Componentes de llanta
Tabla N° 03	Gradación de agregados
Tabla N° 04	Requisitos de suelos aptos de bases estabilizados
Tabla N° 05	Ficha Técnica del grano de caucho de llanta

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura N°01	Deformacion de la carpeta asfaltica
Figura N°02	aplicación de mezcla asfaltica modificada
Figura N°03	Grietas de contraccion o de bloque
Figura N°04	Piel de cocodrilo
Figura N°05	Piel de cocodrilo nivel bajo
Figura N°06	Piel de cocodrilo nivel medio
Figura N°07	Piel de cocodrilo nivel alto
Figura N°08	Exudación en pavimento
Figura N°09	Corrugación
Figura N°10	Grietas de borde
Figura N°11	Abuellamiento
Figura N°12	Baches
Figura N°13	Bases estabilizadas con cemento
Figura N°14	Curva granulometrica de caucho granulado
Figura N°15	Caucho granulado
Figura N°16	Equipo para Ensayo de Penetracion
Figura N°17	Aguja para Prueba de Penetracion
Figura N°18	Anillo para Prueba de Punto de Ablandamiento

Figura N°19 Porta anillos para Prueba de Punto de Ablandamiento

Figura N°20 Montaje del Sistema de Soporte

Figura N°21 Guia para centrar Esfera

Figura N°22 Equipo de Torsion

## CAPITULO I INTRODUCCION

### 1.1 Planteamiento del Problema

El desarrollo de los productos asfálticos utilizados en los pavimentos provienen de la destilación del petróleo crudo ya sea en su forma industrial o natural, estos en combinación con los agregados pétreos conforman mezclas asfálticas que son los responsables de brindar a la capa asfáltica resistencia mecánica bajo carga monotónica, estática y/o cíclica, impermeabilidad y durabilidad. Por lo que la generación de tecnologías en cuanto al mejoramiento del ligante asfáltico, ha sido ampliamente estudiada y utilizada a nivel mundial, surgiendo así los asfaltos modificados. (Rondón, 2014, p. 35).

Referente a estos la adición de los polímeros al asfalto se modifica las propiedades mecánicas, físicas, químicas y reológicas de las mezclas asfálticas. Así, cuando se utiliza esta tecnología, se pretende mejorar el comportamiento que experimentan las mezclas tradicionales cuando son sometidas a diferentes condiciones de carga e interperismo del medio ambiente. Por lo general las propiedades que se intentan mejorar son la rigidez y la resistencia bajo carga monotónica, al ahuellamiento, a fatiga y al envejecimiento, así como disminuir la susceptibilidad térmica. (Reyes, 2014, p. 346).

Con respecto a este punto surgen investigaciones realizadas en varios países del mundo entre ellos Estados Unidos (América del Norte), Brasil, Colombia (América Latina), donde la incorporación de residuos de caucho llanta al asfalto ha sido reglamentado en el año 1999 por la norma ASTM (American Society for Testing and Materials), aprobándose como un modificador del asfalto, en el año 2002 en América latina Colombia se desarrolló investigaciones en la universidad de los andes sobre las mezclas asfálticas mejoradas con caucho molido proveniente de las llantas usadas, en el mismo

año el instituto de desarrollo urbano de Colombia realizo el estudio sobre el empleo de grano de caucho reciclado proveniente de llantas usadas donde los resultados obtenidos mejoran la calidad del asfalto y contribuye al desarrollo sostenible.

A nivel nacional la investigación respecto a este punto continúa siendo muy escasa si comparamos con estudios de investigación desarrollados en los países vecinos.

La infraestructura vial en la ciudad de Trujillo se observa deficiencias en cuanto a la resistencia bajo carga monotónica, ahuellamiento, fatiga, que con ello no cumplen con el periodo de vida útil.

Actualmente en la ciudad de Trujillo existe una investigación al respecto por el ingeniero Danfer Alonso Pereda Rodríguez egresado de esta casa de estudios, sienta un punto de inicio como base al desarrollo de la presente investigación la cual evaluará el comportamiento del ligante asfáltico con caucho reciclado partiendo de la proporción óptima obtenida en la tesis referida planteándonos en función a los materiales que clasifican de las capas bases de un pavimento, logrando así tener un desarrollo sostenible.

## **1.2 Delimitación del problema:**

La presente investigación se delimita a realizar un análisis comparativos entre un asfalto convencional y una mezcla de asfalto con reciclado de caucho de llanta en capas bases de un pavimento, basándose en la Norma Americana ASTM D-6114-97, en la ciudad de Trujillo en los meses de septiembre, octubre y noviembre en el año 2016.

## **1.3 Características y análisis del problema:**

Las características problemáticas para el problema en cuanto al pésimo estado de la infraestructura vial en la ciudad de Trujillo son:

- Baja resistencia bajo carga monotónica.
- Ahuellamiento.



- Fatiga.
- Bajo periodo de vida util del pavimento.

#### **1.4 Formulación del problema:**

¿Cómo influye el empleo del asfalto modificado con caucho reciclado de llantas en los áridos dentro de las propiedades físicas-mecánicas?

#### **1.5 Formulación de la Hipótesis:**

La aplicación del asfalto modificado con reciclado de llanta logrará mejorar la estabilización de los materiales que clasifican como capas bases de un pavimento.

##### **1.5.1 Variables**

VI: Asfaltos modificados.

VD: Estabilización de las capas bases.

#### **1.5 Objetivos**

##### **1.5.1 General:**

Demostrar mediante ensayos de laboratorio que un asfalto modificado con el uso de caucho reciclado de llantas tiene un mejor comportamiento físico-mecánico frente a las capas bases.

##### **1.5.2 Específicos:**

Evaluar las propiedades físicas por medio de ensayos de los áridos de las canteras el milagro.

Evaluar ventajas económicas que presenta frente a los asfaltos convencionales.

Presentar información sobre este tipo de asfaltos modificados.

## **1.6 Justificación de la investigación:**

### **1.6.1 Justificación académica:**

El proyecto de tesis se justifica académicamente porque permitirá aplicar nuevos procedimientos y metodologías para lograr alcanzar las capas bases estabilizadas de una estructura de pavimento.

### **1.6.2 Justificación Técnica:**

El presente proyecto está basado en la norma Americana ASTM D-6114-97 que da a conocer las especificaciones para asfaltos modificados con polvo de llanta.

### **1.6.3 Justificación social:**

El proyecto se justifica socialmente porque proporcionará una alternativa de solución adecuada para afrontar el problema del tiempo de vida y el mantenimiento de los pavimentos.

## **1.7 Limitación del estudio:**

El proyecto cuenta con poco acceso a investigaciones anteriores por no haberse realizado en el medio nacional y local.

## **CAPITULO II. MARCO TEORICO**

### **2.1 Antecedentes**

➤ Ramírez, P. (2006). *Estudio de utilización de caucho de neumático en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco*. Logro como objetivo el estudio del comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas a las cuales se les ha incorporado caucho como material granular fino.

Dentro del análisis del resultado se verifico el porcentaje de caucho óptimo para la mezcla de este estudio compuesta por 5.5% de asfalto, se realizan los siguientes ensayos:

- Resistencia a compresión diametral a 25° C.

- Determinación del Módulo Resiliente a 25° y 40° C, y frecuencias de carga de 0.33, 0.5 y 1 Hz.

- Determinación del comportamiento a la fatiga

El aporte rescatado de la investigación es un alcance de información confiable para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas usándolo como un agregado (proceso seco) ó como un modificador del ligante (proceso húmedo).

➤ Sánchez C. (2006). *Análisis comparativo de las características físicas entre el asfalto convencional y el asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada*”. Con el objetivo de establecer las diferencias que se presentan entre el asfalto convencional y el asfalto con adición de poliestireno y llanta triturada, evaluando así las características físicas por medio de pruebas y ensayos al asfalto convencional y al asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada a 135°C y a 170°C.

Los resultados de las muestras modificadas tanto a 135 como a 170°C mostraron un descenso respecto a los valores obtenidos para el asfalto convencional, es preciso resaltar que para los materiales que sufrieron el proceso de modificación a mayor temperatura, estas variaciones se mostraron menos fuertes ya que para la muestra con presencia de poliestireno (icopor) el descenso en comparación con el material convencional se redujo de 14 a 6 décimas de mm mostrando un menor impacto del modificador en la incorporación a 170°C, este comportamiento se hizo claro en las restantes muestras con presencia de los 2 polímeros modificadores, demostrando que se logró una mejor incorporación y homogenización de estos mediante el proceso de modificación a mayor temperatura y por lo tanto un menor grado de rigidización del material.

El aporte sustraído del antecedente logro tener resultados en cuanto a los procesos de modificación tanto a 135°C como a 170°C y teniendo en cuenta las tendencia de los ensayos, se evidenció una mejor incorporación del grano de caucho reciclado (GCR) y el poliestireno durante el último procedimiento de mezclado,

obteniendo así un cemento asfáltico modificado de mayor homogeneidad.

➤ Rondón, H. (2007). *Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas*. Los principales objetivos principales dentro del proyecto de investigación consultados se concentraron en medir:

- Deformación permanente (Ahuellamiento).
- Desgaste (Cántabro).
- Resistencia (Estabilidad Marshall).
- Envejecimiento.
- Comportamiento térmico.
- Fatiga.
- Adherencia.
- Costos de la mezcla convencional vs. la modificada (economía).
- Beneficios ambientales.
- La influencia de adicionar nuevos materiales al asfalto.

De acuerdo con la investigación, el modificar asfaltos con PVC reciclado de cables en pequeñas proporciones no contribuye en el mejoramiento de la resistencia al envejecimiento. Un mejor desempeño con respecto a esta propiedad se logra cuando se emplean altos porcentajes de aditivo (5 – 7% del peso de la muestra).

La investigación logro dar un alcance de información confiable sobre la deformación permanente, desgaste, resistencia, fatiga, y buscar que beneficios ambientales pueda traer consigo este tipo de asfalto modificado con caucho reciclado.

➤ Cárdenas, M. (2013). *Análisis al comportamiento del cemento asfáltico 60-70 modificado con polímero, bajo efectos de la temperatura*. En este antecedente de investigación se logró determinar las características físicas del asfalto modificado con polímero y llanta triturada y las del cemento asfáltico sin modificar.

En cuanto a los porcentajes de estudio se tienen del orden del 3%, 6% y 12%. El análisis de resultados del presente documento se sustentó en el cambio de resistencia de este nuevo cemento asfáltico modificado contra un cemento asfáltico convencional con un porcentaje del 0 % de polímero.

La investigación logró dar un alcance de información verificando cuál es el porcentaje óptimo requerido de polímero para que el cemento asfáltico gane mayor resistencia, se utilizan varios porcentajes los cuales son el 3 %, 6% y 12% de polímero con respecto al peso de cada bandeja de cemento asfáltico ensayada, y expuestos a diferentes cambios de temperatura que varían entre 60°C, -14°C y temperatura ambiente que está en el orden de oscilación de 14°C a 16°C.

➤ Pereda, D. (2015). *Investigación de los asfaltos modificados con el uso de caucho reciclado de llantas y su comparación técnico-económico con los asfaltos convencionales*. El objetivo de esta tesis fue Identificar ventajas y desventajas que tiene el asfalto modificado con caucho reciclado de llantas con respecto al asfalto convencional. Para el efecto de análisis se realizaron tablas y gráficos que muestran la diferencia de resultados entre las dos mezclas. Se estableció que la mezcla convencional como modificada superan ampliamente los requerimientos mínimos especificados por las normas que rigen a cada ensayo.

Con la presente investigación de acuerdo a los ensayos realizados en pruebas de laboratorio se determinó que se tiene una notable mejora en las propiedades mecánicas tales como módulo dinámico elástico, resistencia a la tensión indirecta, resistencia a la pérdida por desgaste, estabilidad, flujo y susceptibilidad térmica de la mezcla modificada con respecto a la mezcla convencional, por lo que se puede asegurar que los daños viales van a disminuir con la utilización de esta mezcla.

## 2.2 Bases teóricas.

### 2.2.1 ASFALTOS CONVENSIONAL:

Desde la antigüedad hasta hoy en día, el asfalto ha sido utilizado como cemento para ligar, cubrir o impermeabilizar objetos. Es un material muy versátil, se puede decir que es el material de ingeniería más antiguo utilizado por el hombre.

El asfalto es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero; capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de calor o cargas permanentes. (Angulo, 2005, p. 3)

El asfalto se puede encontrar de dos formas, en estado natural o producto de la destilación del petróleo (actualmente el más utilizado en la industria).

Los depósitos naturales de asfalto suelen formarse en pozos o lagos a partir de residuos de petróleo que rezuman hacia la superficie a través de fisuras en la tierra. Entre ellos destacan el lago Asfaltites o mar Muerto, en Palestina; los pozos de alquitrán de La Brea, en Los Ángeles, en los cuales se han encontrado fósiles de flora y fauna prehistóricas; el lago de la Brea, en la isla de Trinidad, y el lago Bermúdez, en Venezuela. También se aprovechan los depósitos de rocas asfálticas o rocas impregnadas de asfalto. Otro tipo de asfalto de importancia comercial es la gilsonita, que se encuentra en la cuenca del río Uinta, al suroeste de Estados Unidos, y se utiliza en la fabricación de pinturas y lacas. Los asfaltos derivados del petróleo son los más utilizados en el mundo, debido a su pureza y economía en relación con los asfaltos naturales.

Se obtienen por medio del proceso de destilación del crudo, donde se separan las fracciones livianas (nafta y kerosén) de la base asfáltica mediante vaporización, fraccionamiento y condensación de la mismas

A continuación se presenta un cuadro de los tipos de bitúmenes según su origen.

BITUMENES	PRODUCTO	ORIGEN	APLICACIÓN EN PAVIMENTOS
ALQUITRAN		Destilación del carbón.	Toxico – bajo desempeño.
BETUN	ASFALTOS NATURALES	Lagos.	Aplicable en ciertos casos.
		Rocas.	
		Arenas.	
		Arcillas.	
	CEMENTOS ASFALTICOS	Destilación de crudos.	Empleo común.

Tabla n°1 tipos de bitúmenes.

(Fernández, 2013, p. 70)

Los componentes del asfalto interactúan entre sí formando un fluido de comportamiento visco elástico, este comportamiento depende principalmente de su composición química y está su vez depende de la fuente y el proceso de refinación.

Este material es muy susceptible a los cambios de temperatura, comportándose como un material frágil y quebradizo a baja temperaturas y como un material fluido viscoso a altas temperaturas.

### 2.2.1.1 Composición Química.

La composición química de los asfaltos básicamente está constituida por cadenas de moléculas compuestas fundamentalmente por carbono, hidrógeno, azufre, oxígeno, nitrógeno y complejos de vanadio níquel, hierro, calcio y magnesio.

La composición específica de un asfalto en particular dependerá de la procedencia del petróleo crudo del cual procede. En los asfaltenos se concentran todos los metales contenidos en el crudo: Ni, V, Fe, Co, Mn, en una proporción apreciable el oxígeno, el azufre y el nitrógeno. El 80- 85% de los asfaltenos son átomos de carbono, la relación C: H se encuentra entre 0.8 y 0.87. (Pinto, 2013, p. 84)

<b>Elemento</b>	<b>Concentración (%)</b>
Carbono	82- 88%
Hidrógeno	8- 11%
Azufre	0- 6%
Oxígeno	0-1.5%
Nitrógeno	0- 1%

### **2.2.1.2 Propiedades físicas del asfalto.**

El asfalto es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero; capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de calor o cargas permanentes. Componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución y que se obtiene como residuo de la destilación al vacío del crudo pesado. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se le combina usualmente. Su color varía entre el café oscuro y el negro; de consistencia sólida, semisólida o líquida, dependiendo de la temperatura a la que se exponga o por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación. (Pinto, 2013, p. 86)



### **2.2.1.3. Características**

Para determinar las características de los materiales asfálticos, así como su comportamiento, existen ensayos de laboratorio que tienen por objeto dar a conocer las propiedades, tanto físicas como mecánicas sometidos a esfuerzos y a temperaturas extremas, según sea el caso. A continuación se presentara la descripción de quizás los más importantes ensayos:

- Viscosidad: Permite conocer los valores de la resistencia del asfalto a fluir a diferentes temperaturas.
- Ductilidad.
- Penetración: Nos da una medida de la consistencia del asfalto.
- Punto de Inflamación: Representa la temperatura a la cual un asfalto puede calentarse con seguridad, sin que éste se inflame en presencia de una llama.
- Punto de ablandamiento.
- Ensayo de Oliensis: Determina si un asfalto ha sufrido descomposición térmica (cracking) o se ha alterado por sobrecalentamiento durante o posteriormente, durante el proceso de refinación. (Coronado, 2011, p. 10)

### **2.2.1.4 Durabilidad.**

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto debido a que el comportamiento del pavimento es afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

### **2.2.1.5 Adhesión y cohesión:**

La adhesión se refiere a la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación.

Cohesión por otro lado, es la capacidad del asfalto de mantener firmes las partículas del agregado en el pavimento terminado.

### **2.2.1.6 Endurecimiento y Envejecimiento.**

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas del agregado).

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas, mientras está revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado, esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa.

No todos endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento y así ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible y durante el tiempo mas corto que pueda obtenerse en la práctica.

El endurecimiento del asfalto continúa en el pavimento después de la construcción. Una vez mas las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser

retardados si se mantiene en el pavimento terminado, una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas del agregado.

## **2.2.2 ASFALTOS MODIFICADOS:**

**2.2.2.1 Definición:** son asfaltos, que para mejorar algunas de sus propiedades, se les incorporan productos como polímeros, caucho molido, etc. Estos productos pueden ser disueltos o incorporados en el asfalto ya que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura. Esta modificación favorece sus propiedades físicas y reológicas, también disminuye su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación. (Rondón, 2014, p. 347).

**2.2.2.2 Características:** los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interface entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua. También aumenta la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga, reduciendo el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores por lo general, se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo. (Coronado, 2011, p. 11)

**2.2.2.3 Clasificación:** de los asfaltos modificados con polímeros para uso vial. (IRAM 6596): se consideran cuatro tipos, de acuerdo con su uso más frecuente.

**2.2.2.3.1. Asfalto modificado AM 1,** utilizado para carpetas de rodamiento resistentes a la deformación plástica y a la fatiga.

**2.2.2.3.2. Asfalto modificado AM 2,** utilizado para capas drenantes.

**2.2.2.3.3. Asfalto modificado AM 3**, utilizado para mezclas en capas delgadas y para mezclas de alta prestación.

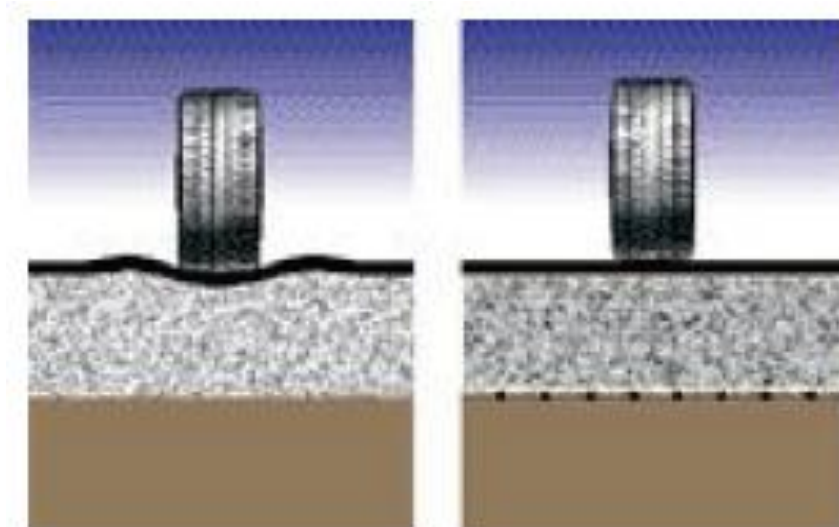
**2.2.2.3.4. d) Asfalto modificado AM 4**, utilizado para mezclas arena - asfalto.

#### **2.2.2.4. Razones para usar Modificadores de Asfaltos**

##### **2.2.2.4.1. Deformación de la Carpeta Asfáltica.**

Una diferencia entre una carpeta rígida, carpetas de concreto hidráulico, y una carpeta flexible, es la forma en que cada una de ellas absorbe y transmite las cargas a las capas subyacentes del pavimento. Pues es sabido que una carpeta rígida absorbe las cargas de manera distribuida, debido a su carácter de material rígido, propiedad con la que no cuenta una carpeta de asfalto, pues debido a su naturaleza, una carpeta asfáltica recibe la carga de forma directa, se deforma y la transmite en forma distribuida a la capa inferior. (Rodríguez, 2015, p. 36)

En la Figura N° 01 se muestra, de forma esquemática, del lado izquierdo la deformación que presenta una carpeta asfáltica, mientras que en el lado derecho la carpeta rígida no presenta deformación.



**Figura N° 01 Deformación de la Carpeta Asfáltica**

Aplicada la carga, o si es demasiado rígido este fenómeno ocasionará fracturas permanentes en la superficie de rodamiento. (Rodriguez, 2015, p. 37)

La deformación permanente se produce en el pavimento flexible cuando se acumula deformación plástica, con cargas repetidas a altas temperaturas comprendidas entre 40°C y 65°C, (mayores al punto de reblandecimiento del asfalto), como se menciona anteriormente es favorecida por cargas altas y periodos lentos o prolongados de su aplicación. Los factores que favorecen a la aparición de la deformación permanente son las altas presiones de inflado de las llantas de los vehículos, aunque esto no depende del proyectista; un alto o bajo contenido de asfalto en la mezcla; el uso de agregados de forma alargada y redonda, además de la afinidad del pétreo a la humedad. (Rodriguez, 2015, p. 37)

Otro fenómeno que se presenta, similar a la deformación permanente es el de agrietamiento por baja temperatura, este se presenta cuando el asfalto es demasiado rígido, debido a que presenta una elasticidad demasiado baja, lo que propicia que el asfalto se vea sujetado a esfuerzos de tensión antes de recibir alguna carga. (Rodriguez, 2015, p. 37)

## **2.2.2.5 AGENTES MODIFICADORES DE ASFALTO**

### **2.2.2.5.1 hule molido de llanta**

Las llantas de vehículos al término de su vida útil, se convierten en desecho no bio-degradable. Además su forma física y dispersión geográfica plantean un reto para su manejo y disposición final.

La eliminación de las llantas de desecho es un serio problema mundial. Debido al gran número de llantas de

desecho generadas anualmente y su larga vida, las llantas tienen un problema substancial en su manejo como basura. Actualmente la mayoría de las llantas de desecho son apiladas o usadas como relleno en grandes extensiones de terreno, creando serias amenazas sanitarias y ambientales.

Usos:

- Disposición en tiraderos a cielo abierto y rellenos sanitarios.
- Disposición en patios y azoteas particulares.
- Uso como combustible en hornos ladrilleros y artículos de barro sin control en sus emisiones a la atmósfera.
- Uso como combustible alternativo en hornos cementeros autorizados y altamente controlados por la autoridad ecológica.

Al quemarse la llanta, el 100 % de sus componentes son cancerígenos.

- Uso como materia prima de una microindustria de producción de zapato, huarache y artículos de hule de muy rudimentaria técnica y forma sencilla, sin control alguno de sus recortes y desperdicios.
- Uso como muros de contención y ornato, principalmente en parques recreativos.
- Uso en zonas de granjas como bebederos para la cría de especies menores.
- Uso como medio amortiguador de impactos en maquinaria y vehículos automotores pesados.
- Uso en la navegación en muelles y en embarcaciones como elementos de protección de impactos.
- Uso como material de apoyo y seguridad en diversas actividades deportivas.

### 2.2.2.5.1.1 Composición:

Rellenos reforzantes: el negro de humo, formado de partículas muy pequeñas de carbono, que aumenta la tenacidad y la resistencia a la tracción, a la torsión y al desgaste. - Fibras reforzantes: textiles y de acero, usualmente en forma de hilos, que aportan resistencia a los neumáticos: algodón, nylon y poliéster. La cantidad de acero y fibras sintéticas reforzantes en los neumáticos varía según el fabricante. - Plastificantes: se adicionan para facilitar la preparación y elaboración de las mezclas, utilizándose para el control de la viscosidad. Reducen la fricción interna durante el procesado y mejoran la flexibilidad a bajas temperaturas del producto: aceites minerales (aromáticos, nafténicos y parafínicos) y de tipo éster. - Agentes vulcanizantes: el azufre se usa para entrecruzar las cadenas de polímero en el caucho: - Acelerantes: compuestos órgano - sulfurados, benzotiazol y derivados, óxido de zinc y ácido esteárico. - Retardantes: N-nitroso difenil amina. - Otros componentes (antioxidantes o antiozonizantes, adhesivos). (Catriel y Rebollo, 2011, p. 22)

Los neumáticos está compuesto por los siguientes componentes

Componentes	Tipo Vehículo		Función
	Automóviles % en peso	camiones % en peso	
Cauchos	48	45	Estructural- Deformación
Negro humo	22	22	Mejora oxidación
Óxido de zinc	1.2	2.1	Catalizador
Materia textil	5	0	Esqueleto estructural
Acero	15	25	Esqueleto estructural
Azufre	1	1	Vulcanización
Otros	12		Juventud

### **2.2.2.5.1.2 Procesos para la Obtención de Hule Molido de las Llantas.**

#### **- Sistema Mecánico ( Ambiental )**

El proceso mecánico consiste primero en eliminar los cinturones de acero de las llantas de camión. Después de haber eliminado los cinturones de acero, la llanta es llevada a un equipo triturador donde se reduce la llanta a tamaños aproximados entre 25 y 40 centímetros cuadrados. Esta pedacería es llevada a tolvas instaladas en la entrada de los granuladores.

El granulador recibe la pedacería y la lleva a una serie de moliendas por medio de cuchillas que pulverizan el hule. Dentro de estos procesos, existen sistemas magnéticos que separan el acero y metal expulsándolo mediante un tubo vibratorio a los depósitos principales de recolección de acero. El hule pasa a una mesa vibratoria donde está instalado un sistema de vacío que elimina la fibra sintética que tiene la llanta.

Después de este paso, se transporta el hule a unas cribas que permiten seleccionar las medidas deseadas de acuerdo a las necesidades de granulometría del mercado (normalmente son cuatro), para posteriormente depositar el hule molido en silos que permitirán el pesado y empaclado.

#### **- Sistema Criogénico.**

El sistema criogénico consiste en llevar las llantas enteras a un depósito donde se hace pasar nitrógeno líquido para ser congelado el producto. Algunos productores las trituran, para aumentar el volumen del



producto a congelar.

Posteriormente pasa a unos molinos donde se rompe la pedacería, pulverizando el producto, y ayudado por un sistema magnético se separa el acero y metal existente, y mediante un sistema de vacío, se separa la fibra sintética que tiene la llanta. Después es pasado a un sistema de cribas donde se separa por tamaños, para después pasar a unos silos donde se procede al embolsado y pesado.

“La ASTM-D-8-99 define al asfalto ahulado, como “una mezcla de cemento asfáltico y hule recuperado de llantas de desecho, con algunos aditivos en donde el componente de hule es como mínimo el 15% del peso volumétrico de la mezcla, que ha reaccionado con el cemento asfáltico caliente lo suficiente para lograr una dilatación e integración de las partículas de hule”. Los mejores resultados se han obtenido utilizando un mínimo de 17% de hule reciclado de neumáticos, mezclado a temperaturas entre los 175°C y 200°C para provocar la reacción.”

#### **2.2.2.5.2 Polímeros.**

Ya se mencionó que un polímero es una molécula larga creada por una reacción química de muchas pequeñas moléculas, que una con otra forman largas cadenas. (Rodríguez, 2015, p. 50)

El primer polímero conocido por el hombre, y al cual se le dio un uso fue el látex natural, conocido como hule, (del náhuatl hollín que significa movimiento), producto del sangrado del árbol perteneciente al género de las euforbiáceas conocido como ulcuahuitl o árbol del hule (Castilloa Elástica Cervica). Posteriormente se inició el interés en el novedoso

material, se dio un auge en la investigación de éste, pues aunque tenía propiedades singulares presentaba un rápido deterioro por el incremento de la temperatura. Después del descubrimiento del proceso de vulcanización, con lo que se logra la obtención del primer polímero termofijo, se presenta una carrera científica de intereses militares para crear polímeros sintéticos, lo que a la fecha ha traído un gran número de tipos de estos materiales, pudiendo enlistar una muy amplia lista de éstos. En nuestro caso, obviamente, solo hablaremos de aquellos que tienen utilidad en la modificación de los asfaltos. (Rodríguez, 2015, p. 51)

A pesar de que los polímeros pueden formularse de tal manera que resulten con cualquier propiedad física, aquellos que se utilizan en la modificación de asfaltos se pueden agrupar en dos categorías principales: (Rodríguez, 2015, p. 51)

- Elastómeros
- Plásticos

#### **2.2.2.5.2.1 Los Elastómeros.**

Son un conjunto de materiales que formados por polímeros que se encuentran unidos por medio de enlaces químicos adquiriendo una estructura final ligeramente reticulada. (Coronado, 2011, p. 75)

La principal característica de los elastómeros es su alta elongación o elasticidad y flexibilidad que disponen dichos materiales frente a cargas antes de fracturarse o romperse. (Coronado, 2011, p. 75)

Algunos de los elastómeros utilizados para modificar asfaltos son: bloques de copolímeros estireno-butadieno-estireno o estireno butadieno

(SBS-SB), bloque de copolímeros estireno-isopreno-estireno (SIS), látex ahulado de estireno-butadieno (SBR), látex de policloropreno, y látex de hule natural. (El látex es una emulsión de gotas microscópicas de polímero suspendidas en agua). (Coronado, 2011, p. 75)

#### **2.2.2.5.2.2 Los plastómeros.**

Forman una red rígida tridimensional, estos polímeros dan mucha fuerza a temprana edad para resistir cargas pesadas, pero pueden fracturarse cuando son deformados, ya que son muy rígidos, provocando la fatiga acelerada del pavimento, si no se cuenta con una estructura adecuada. Los plastómeros mas comunes son: el etil-vinilo-acetato (EVA) polietileno/polipropileno, y poliolefinas. (Rodriguez, 2015, p. 53)

El ligante asfáltico y las propiedades de la mezcla pueden ser diseñadas eligiendo el polímero correcto para determinada aplicación, y asegurándose que es compatible con el asfalto base. En general, se eligen elastómeros para proporcionar una mayor resiliencia y flexibilidad al pavimento, mientras que los resultados con plastómeros generan una mezcla de alta estabilidad y rigidez. (Rodriguez, 2015, p. 53)

Los resultados obtenidos de un proceso de modificación de asfalto dependen altamente de la concentración, peso molecular, composición química y orientación molecular del polímero, así como, de la fuente del crudo, del proceso de refinación y del grado del asfalto base que se utiliza. La mayor diferencia cuando es modificado un asfalto con polímeros es su reología, o sus características de flujo, particularmente su susceptibilidad térmica. (Rodriguez, 2015, p. 54)

Cuando un asfalto es modificado, la viscosidad a 60 °C cambia dramáticamente, pero las penetraciones tanto a 25 °C como a 4°C cambian tan solo pocos grados. La modificación con polímeros causa cambios significativos en la relación esfuerzo - deformación, en la respuesta a la deformación plástica y en los parámetros de flujo tipo no-newtoniano. (Rodríguez, 2015, p. 54)

La capacidad de algunos polímeros para su recuperación elástica (la respuesta a la deformación) se mide monitoreando el flujo bajo la acción de una carga, y su recuperación elástica cuando la carga desaparece y añade durabilidad al asfalto. Se han desarrollado nuevas pruebas para medir estas propiedades; los cuales son más adecuados en algunos casos que los métodos convencionales (viscosidad absoluta o cinemática, punto de reblandecimiento, penetración, etc.), ya que caracterizan las propiedades físicas de los asfaltos modificados con polímeros a altas y bajas temperaturas.

Los tipos de polímeros son entre otros:

Copolímeros en block y otros ter moplásticos:

Su característica es el contener bloques finales de estireno y bloques medios de butadieno para proporcionar “elasticidad”.

En este grupo están:

- SB (Estireno – Butadieno)
- SBS (Estireno – Butadieno – Estireno)
- SIS (Estireno – Isopreno – Estireno)
- SEBS (Estireno – Etileno – Butadieno – Estireno)
- LDPE (Polietileno baja densidad)
- ABS (Acrilonitrilo – Butadieno – Estireno)
- EVA (Etil – Vinil – Acetato)

Hules naturales y sintéticos:

- NR (Hule natural)
- PBD (Polibutadieno)
- PI (Poliisoprenos)
- PCB (latex)

Otros:

- Hule de llanta
- Fibras (celulosa, poliéster, polipropileno, etc.)

Las propiedades del asfalto que se logran modificar son la viscosidad, ductilidad, resistencia al envejecimiento, susceptibilidad térmica y elasticidad. (Rodríguez, 2015, p. 55)

Es notorio que en la lista anterior se ve la presencia de látex, hule de llanta, fibras y agentes antistripping, sin embargo estas cuentan con características un tanto diferente a los demás polímeros y se hablara de ellos en secciones apartadas.

Cuando se añaden polímeros al asfalto, las propiedades del asfalto modificado dependen de dos aspectos:

- El sistema de polímero utilizado.
- La compatibilidad del polímero con el asfalto.

#### **2.2.2.6. Ventajas del uso de Asfaltos Modificados**

Ya que se conocen las diferencias más destacadas entre los asfaltos convencionales y los modificados. A continuación se clasifican las ventajas de los asfaltos modificados:

#### **2.2.2.6.1. Mecánicas.**

- Disminuyen la susceptibilidad a los tiempos de aplicación de carga.
- Aumentan la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un rango más amplio de temperaturas, tensiones y tiempo de carga.
- Tienen una elevada resistencia mecánica, gran resistencia a la tracción, buen poder humectante y adhesión con los agregados.
- Se obtienen mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento.
- Disminuye la exudación del asfalto: por la mayor viscosidad de la mezcla, su menor tendencia a fluir y su mayor elasticidad.

#### **2.2.2.6.2 Térmicas.**

- Disminuyen la susceptibilidad térmica.
- Disminuyen la fragilidad en climas y aumentan la cohesión en tiempos de calor.
- Varía su comportamiento de acuerdo a la temperatura en que se encuentren.

#### **2.2.2.6.3. Económicas.**

- El costo, depende básicamente de su mantenimiento ya que con estos requerirán menos y su tiempo de vida sería más largo.

#### **2.2.2.7. Procesos de Modificación del Asfalto**

El CRLI puede ser incorporado en las mezclas asfálticas por medio de dos métodos diferentes denominados proceso húmedo y proceso seco.

### **2.2.2.7.1 Proceso por vía seca**

El proceso seco es cualquier método donde el CRLC es adicionado directamente a la mezcla asfáltica caliente, siendo usualmente mezclado con los agregados antes de adicionar el cemento asfáltico.

Este proceso se lleva a cabo cuando se quiere usar el CRLC como un agregado en la mezcla asfáltica, por lo general, como un sustituto de una pequeña parte del agregado fino, el cual puede estar entre el 1 y 3 % del peso total de los agregados en la mezcla. A diferencia del proceso húmedo, este proceso no requiere un equipo especial, solo un sistema de alimentación que proporcione la cantidad adecuada de CRLC y que sea suministrada en el momento indicado para que se mezcle con los agregados cuando estos alcancen cierta temperatura y antes de que el ligante sea adicionado.

Las dos tecnologías más comunes en estados unidos para el uso del CRLC por la vía seca son la tecnología PlusRide, la tecnología Genérica o sistema TAK y otra tecnología muy popular es la que emplea granulometrías convencionales, la cual fue desarrollada en España y es actualmente usada en muchos países.

### **2.2.2.7.2. Genérica.**

Esta tecnología fue desarrollada por el Dr. Barry Takallou a finales de los años 1980 para producir mezclas asfálticas en caliente con granulometría densa. Este concepto emplea tanto el CRLC grueso como fino para emparejar la granulometría de los agregados obteniendo una mezcla asfáltica mejorada. En este proceso la granulometría del CRLC es ajustada para acomodar la granulometría de los

agregados. A diferencia del PlusRide, la granulometría del CRLI se divide en dos fracciones en la que la parte fina se encarga de interactuar con el cemento asfáltico mientras la parte gruesa entra a comportarse como un agregado elástico en la mezcla asfáltica.

En este sistema, el contenido de CRLI no debe exceder el 2 % del peso total de la mezcla para capas de rodadura.

### **2.2.2.7.3. Proceso por vía húmeda.**

En el proceso húmedo, el CRLI es mezclado con el cemento asfáltico para producir una mezcla modificada asfalto-caucho que es usada de la misma manera que un ligante modificado.

El cemento asfáltico que ha sido modificado con CRLI es llamado AMC y es el resultado de la interacción del CRLI con el ligante.

Cuando el cemento asfáltico y CRLI son mezclados, el caucho interacciona hinchándose y ablandándose por la absorción de aceites aromáticos, siendo necesaria la utilización de un catalizador compatibilizante para darle un pre-tratamiento al caucho mejorando la estabilidad de la mezcla. El grado de modificación del ligante depende de muchos factores entre los cuales se encuentran el tamaño, textura y proporción del CRLI, tipo del cemento asfáltico, tiempo y temperatura de mezclado, grado de agitación mecánica durante la mezcla, el componente aromático del cemento asfáltico y el uso de otros aditivos.

Entre más usadas en el proceso húmedo están: el mezclado por bachadas o tecnología McDonald, mezclado continuo y mezclado terminal.



#### **2.2.2.7.4. Tecnología por bachadas.**

Esta metodología consiste en una producción de mezclado de asfalto y caucho por bachadas. Las primeras aplicaciones en el proceso húmedo fueron bachadas y se basaron en la tecnología McDonald, que fue desarrollada a comienzos de los años 1960 por Charles McDonald, y patentada en los años 1970 por la Arizona Refining Company (ARCO). Hoy en día existen numerosas patentes relacionadas con la tecnología McDonald, muchas de las cuales ya han expirado y otras cuantas todavía se encuentran vigentes.

#### **2.2.2.7.5 Tecnología continúa.**

Este proceso consiste en un sistema de producción de mezclado de asfalto y caucho de manera continua. La tecnología de mezclado en continuo fue desarrollada en Florida a finales de los años 1980 y es conocida como Florida Wet Process. En este proceso, un tamaño fino 0.18 mm (tamiz No 80) de CRLL es mezclado con el cemento asfáltico en un proceso continuo.

La tecnología de Florida se diferencia del proceso McDonald en varios aspectos: emplea bajos porcentajes de CRLL, entre 8 y 10%, el tamaño de la partícula de caucho requerida es más pequeña, disminuye la temperatura y el tiempo de mezclado. El proceso húmedo de Florida aún no ha sido patentado.

#### **2.2.2.8. Aplicación de la Mezcla.**

##### **➤ Equipo utilizado en la aplicación de la mezcla.**

Es básicamente el mismo que el utilizado en una aplicación de mezcla asfáltica sin modificar (no se utiliza la compactadora neumática).

- Camión regador: para aplicar el riego de liga.
- Máquina pavimentadora: para colocar la carpeta asfáltica del espesor requerido.
- Rodillo Vibratorio de doble tambor: para la compactación.

➤ **Mano de obra necesaria.**

Se requieren los operadores de cada máquina:

- Un operador del camión regador.
- Un operador para la maquina pavimentadora.
- Dos personas encargadas de emparejar las orillas de la pavimentadora.
- Un encargado de chequear el espesor de la carpeta.
- Un operador del rodo vibratorio.

➤ **Aplicación de la mezcla.**

La mezcla con asfalto modificado fue colocada sobre un pavimento asfáltico. El proceso a seguir es el siguiente:

- Se debe chequear siempre que la superficie este completamente nivelada libre y de cualquier clase de desechos antes de empezar a pavimentar.
- Aplicar un riego de liga a razón de 0.07 a 0.18 gal/m<sup>2</sup>, con el fin de que exista adherencia entre la carpeta existente y la nueva.
- Chequear la temperatura a la que es entregada la mezcla asfáltica ya que no es adecuado compactar a temperaturas muy bajas.
- La pavimentación se lleva a cabo utilizando una pavimentadora, la cual está conformada por dos unidades: la del tractor y la del enrasador. La unidad del tractor incluye

una planta motriz y el enrasador es el encargado de colocar la carpeta de mezcla en caliente y controlar el espesor de esta aunque, el espesor es siempre revisado por un encargado que va midiendo con una varilla graduada. La plancha del enrasador debe ser calibrada para estar a la temperatura de la mezcla y evitar enfriamiento prematuro de la mezcla asfáltica.(Ver figura N°. 2)



**Figura 2. Aplicación de mezcla asfáltica modificada**

- Se procede a compactar, esto consiste en comprimir el volumen de mezcla asfáltica para así obtener un volumen menor con el fin de aumentar la resistencia y estabilidad de la mezcla, también de cerrar los espacios por donde pueda colarse agua o aire, debido a que estos dos factores son dañinos. La carpeta fue compactada a 132 - 141°C (270 - 285°F), se deben evitar temperaturas menores debido a que el tipo de asfalto utilizado ha sido modificado con polímeros de tipo elastómeros, lo cual hace que el bitumen se vuelva más viscoso y esta propiedad aumenta conforme la temperatura disminuye.

### **2.2.3 Fallas en Pavimentos Flexibles.**

Se tiene perfectamente bien establecido, que las vías terrestres se proyectan y se construyen, para que estén en servicio por un determinado número de años como mínimo, a este periodo se le conoce como horizonte de proyecto o vida útil de la obra. Al concluir este periodo de tiempo, los caminos se abandonan, se rescatan o se reconstruyen con objeto de aumentar su servicio por más tiempo, que es en general lo que sucede.

El deterioro se observa y se califica con un valor del 1 al 5, llamado índice de servicio; cuando una obra comienza a funcionar, recién construida, debe tener una calificación de 4.0 a 4.5, la cual disminuye mediante pasa el tiempo.

Cuando un camino de primer orden o autopista llega a un índice de servicio de 2.5 o 2, uno de segundo orden, el tránsito tiene varios problemas, y la comodidad del viaje llega al punto mínimo. En este momento, la obra alcanza su falla funcional, si el camino sigue en servicio, logra la falla estructural y prácticamente ya no puede haber tránsito. Debido a un mal diseño de la estructura en cuanto a los materiales o sus espesores, o a que no se pronostico el tránsito en forma adecuada, Una obra puede llegar a la falla estructural al estar prácticamente destruida antes de terminar la vida útil del proyecto, sin que quizás halla habido falla funcional, pues el deterioro habría sido rápido. (Rodriguez, 2015, p. 39)

#### **2.2.3.1. Grietas de Contracción o de bloque.**

Son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares, su tamaño puede variar de .30 m x .30 m a 3.0 m x 3.0 m; principalmente se originan por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios; este tipo de falla no está asociada a cargas, lo que indican es que el asfalto se ha endurecido significativamente. (Cipriano, 2004, p. 10)



**Figura N° 03 Grietas de Contracción o de bloque.**

### **2.2.3.2. Piel de Cocodrilo.**

Las grietas piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito; la piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento. (Cipriano, 2004, p. 11)



**Figura N° 04 Piel de cocodrilo.**



### 2.2.3.2.1 Nivel de severidad Bajo:.

Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas. Las grietas no están descascaradas, es decir, no presentan rotura del material a lo largo de los lados de la grieta. (Cipriano, 2004, p. 11)



Figura Nº 05 Piel de cocodrilo nivel bajo.

### 2.2.3.2.2 Nivel de severidad medio:

Desarrollo posterior de grietas piel de cocodrilo del nivel bajo, en un patrón o red de grietas que pueden estar ligeramente descascaradas. (Cipriano, 2004, p. 11)



Figura Nº 06 Piel de cocodrilo nivel medio.

### 2.2.3.2.3. Nivel de severidad alto:

Red o patrón de grietas que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y descascarados los bordes. Algunos pedazos pueden



ajo el tránsito. (Cipriano, 2004, p. 12)

**Figura N° 07 Piel de cocodrilo nivel alto.**

### 2.2.3.3. Mancha en Pavimentos (Exudación).

La “exudación” es la presencia de una película de material bituminoso en pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa. La “mancha” es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire, o por deposición de aceites caído de los vehículos, o por concentración de residuos de combustibles no quemados. (Cipriano, 2004, p. 12)



**Figura N° 08 Exudación en pavimentos.**

#### **2.2.3.4. Corrugaciones.**

La corrugación (también llamada “sartanejas”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0 m.

Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito; este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. (Cipriano, 2004, p. 13)



**Figura N° 09 Corrugación.**



**2.2.3.5. Grietas de Borde.** Las grietas de borde son paralelas al eje de la vía y generalmente están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento debido a condiciones climáticas, de la base o de las sub-rasante próximas al borde del pavimento, o por falta de soporte lateral o inclusive por terraplenes contruidos con materiales expansivos. (Cipriano, 2004, p. 13)



**Figura Nº 10 Grietas de borde**

**2.2.3.6. Ahuellamiento.**

El ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la sub-rasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debidos a la carga del tránsito. (Cipriano, 2004, p. 14)

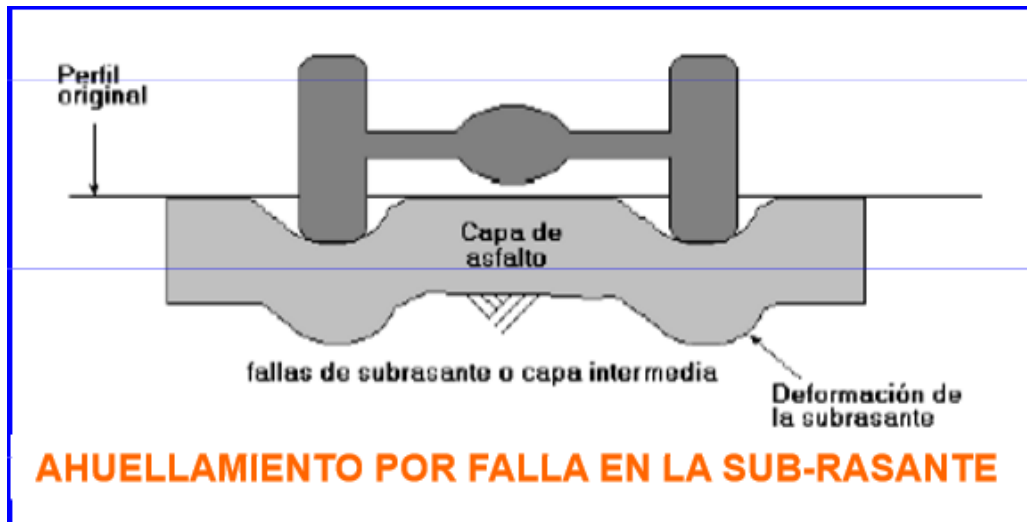


Figura Nº 11 Ahuellamiento.

### 2.2.3.7 . Baches.

Un bache es un área de pavimento la cual ha sido remplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente.

Los bache se considera un defecto no importa que tan bien se comporte (usualmente, un área bacheada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento).  
(Cipriano, 2004, p. 14)



Figura Nº 12 Baches.

## **2.2.4. BASES ESTABILIZADAS:**

### **2.2.4.1. Definición:**

Se refiere a la construcción de materiales tratados para ser empleados como subbase y/o base de pavimentos de hormigón o asfalto, las cuales se refieren a suelos estabilizados para obtener resistencias a la compresión. (Loría, 2011, p. 45)

### **2.2.4.2. Bases estabilizadas con cemento:**

En teoría, se logra la estabilización de un material cuando al adicionar el cemento, el agua y la energía de compactación dicho material aumenta sus propiedades de resistencia mecánica, de plasticidad, y es estable ante los procesos de meteorización bajo las condiciones de clima a que está expuesto en el pavimento. Obviamente las cargas del tránsito inducirán un proceso de falla acorde con las leyes de fatiga que rigen estos materiales.

El cemento se puede incorporar al material de base para mejorar propiedades como: la resistencia mecánica, la resistencia a las condiciones del clima (especialmente ante altos índices de saturación), los indicadores de plasticidad o la degradabilidad (meteorabilidad) de los agregados; además permite el reciclado de pavimentos existentes severamente deteriorados, así como el uso de materiales que no cumplen con las especificaciones técnicas para base granular. Esto es especialmente importante en zonas donde no se cuenta con buenas fuentes de agregados. (Loría, 2011, p. 48)



**Figura N° 13 Base estabilizada con cemento.**

#### **2.2.4.2.1. Técnica de estabilización con cemento:**

- Para mejorar los índices de plasticidad y la capacidad de soporte (CBR) de los materiales (suelos y agregados).  
En el rango de valores altos de plasticidad la cal suele ser más efectiva. Algunas recomendaciones para aplicar la alternativa del cemento son:
  - a- Que el IP sea menor que 30 para suelos arenosos.
  - b- Que el IP sea menor a 20 y el LL menor a 40 para suelos de grano fino (más limosos).
  - c- Para agregados tipo gravas que el porcentaje que pasa la malla 4 sea mayor a 45, y que adicionalmente el  $IP \leq 20 + (0.25)(50 - \% \text{pas. No. 4})$ .
  - d- Para materiales que contengan menos de un 35% pas.No.200, y que el IP sea menor a 20.
  - e- En el caso de los suelos tipo A-4, A-5, A-6, y A-7 (clasificación AASHTO), suele ser más conveniente estabilizarlos con cal.

- Para incorporar en el pavimento agregados que no cumplen especificaciones para base granular. (Loría, 2011, p. 49)
- Permite construir capas de base de alta resistencia y altos valores de módulo, brindando un importante aporte estructural al pavimento. Inclusive se puede colocar una capa asfáltica de rodamiento de poco espesor sometida a esfuerzos de compresión, con el consecuente incremento en la capacidad a fatiga del paquete estructural. (Loría, 2011, p. 49)
- Permite utilizar materiales degradables (meteorizables). Esta técnica se ha usado en Costa Rica, pero conviene mejorar los ensayos y especificaciones para garantizar la estabilización en el largo plazo. Sobre esto ya hay investigación adelantada en el Lanamme. (Loría, 2011, p. 49)
- Especialmente en climas lluviosos aportan una alta resistencia a la socavación en bordes y esquinas en las losas de los pavimentos de concreto, lo cual sumado a los altos módulos de estas bases permiten diseñar losas de concreto de menor espesor, superando con mucho el desempeño que en este caso (climas lluviosos) presentan las bases granulares. Precisamente esta circunstancia explica la falla tan prematura que se presentó en el tramo de concreto Tres Ríos-Cartago, construido con base granular y diseñado originalmente con base de grava-cemento. (Loría, 2011, p. 50)
- En condiciones de alta saturación la resistencia de la base tiende a aumentar, lo que la hace muy apropiada en zonas de alto nivel freático o de alta precipitación. (Loría, 2011, p. 50)

- Estas bases no presentan los problemas de deformación permanente, típicos de las bases granulares. Estructuralmente tiene una respuesta elástica ante las cargas del tránsito, diferente a la respuesta no lineal de las capas granulares (módulo dependiente del nivel de esfuerzos). (Loría, 2011, p. 50).

#### **2.2.4.3. Base estabilizada con emulsión asfáltica:**

Permite estabilizar bases granulares o suelos naturales, proporcionándole propiedades de cohesión y resistencia, incrementando su coeficiente estructural.

Así mismo, permiten reutilizar materiales que ya cumplieron su ciclo de vida (carpetas asfálticas envejecidas fatigadas y bases granulares).

##### **2.2.4.3.1. materiales:**

###### **2.2.4.3.1.1. Agregados pétreos:**

Los agregados susceptibles de estabilizar con emulsión asfáltica podrán provenir de la trituración de piedra de cantera o de grava, de fuentes de grava natural o estar constituidos por una mezcla de ambos. Independientemente de su procedencia, los agregados deberán encontrarse exentos de materia orgánica, terrones de arcilla o cualquier otra sustancia que pueda resultar ambientalmente nociva o inconveniente para el buen comportamiento de la capa estabilizada.

El agregado pétreo por estabilizar deberá presentar una gradación que se ajuste a alguna de las franjas señaladas en la Tabla n°4.



TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA	
NORMAL	ALTERNO	BEE-1	BEE-2
37.5 mm	1 1/2''	100	-
25 mm	1	70-100	100
12.5 mm	1/2''	50-80	60-90
9.5 mm	3/8''	45-75	50-80
4.75 mm	No.4	30-60	30-60
2.36 mm	No.8	20-45	20-45
4.25 µm	No.40	10-27	10-27
150 µm	No.100	5-18	5-18
75 µm	No.200	3-15	3-15

Tabla N° 3 Gradación de agregados.

En adición a los requisitos de granulometría de la Tabla 340.1, la relación de polvo (% pasa tamiz 75 µm (N° 200) / % pasa tamiz 425 µm (N° 40)) no deberá exceder de 2/3. Además, el producto del porcentaje que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) del agregado combinado por su índice de plasticidad, no podrá ser mayor de setenta y dos (72).

#### **2.2.4.3.1.2. Suelos:**

Para la construcción de bases estabilizadas con emulsión en proyectos de tránsito NT1, se podrán emplear suelos granulares finos de los tipos A-1-b y A-2-4, que sean pulverizables o disgregables económicamente, que se encuentren exentos de cantidades perjudiciales de materia orgánica, arcilla plástica, materiales micáceos y cualquier otra sustancia objetable.

Sus requisitos básicos de calidad son los indicados en la Tabla N°5.

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
Limpieza		
Índice de plasticidad, % máximo	E – 125 E - 126	7
Equivalente de arena -suelos A-1-b, % Mínimo. -suelos A-2-4, intervalo admisible, en %	E – 133	>_ 90 20 - 40
<b>Capacidad de soporte</b>		
CBR del suelo sin estabilizar, % mínimo. Nota: Porcentaje asociado al 95% de la densidad seca máxima, medida según la norma de ensayo INV-142	E - 148	15

Tabla N° 4 Requisitos de suelos aptos de bases estabilizadas.

#### **2.2.4.3.1.3. Material bituminoso:**

Será una emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta, que corresponda a los tipos CRL-1 o CRL-1h

#### **2.2.4.3.1.4. agua:**

El agua que se requiera para la estabilización deberá ser limpia y libre de materia orgánica, álcalis y otras sustancias perjudiciales. Su pH, medido de acuerdo con norma de ensayo ASTM D-1293.

Deberá estar entre cinco y medio y ocho (5.5 y 8.0) y el contenido de sulfatos, expresado como SO<sub>4</sub> y determinado según norma ASTM D-516, no podrá ser mayor de un gramo por litro (1 g/l).

Si se emplea agua reconocida como potable, no será necesario efectuar ensayos para la verificación de sus características



#### **2.2.4.4. Beneficios:**

Su aporte estructural, la variabilidad de materiales en las distintas zonas del país, el clima lluvioso y la presencia de zonas con niveles freáticos altos favorecen la aplicación de esta tecnología.

Estas bases son las más resistentes ante la deformación permanente que inducen los camiones, especialmente cuando se colocan capas asfálticas de rodamiento de poco espesor.

### **2.3 Definición de términos.**

#### ➤ **Pavimento:**

Capa lisa, dura y resistente de asfalto, cemento, madera, adoquines u otros materiales con que se recubre el suelo para que esté firme y llano. (Guillermo, 2008, p. 23)

Los pavimentos son soluciones para la configuración de caminos, siendo concebidos, diseñados y construidos pensando en mejorar y mantener (Becerra, 2010, p. 45)

#### ➤ **Red vial:**

Las redes viales son toda superficie terrestre, pública o privada, por donde circulan peatones y vehículos, señalizada y bajo jurisdicción de las autoridades nacionales y/o provinciales responsables de la aplicación de las leyes de tránsito. (Becerra, 2010, p. 47).

➤ **Base:**

Es la capa que se encuentra bajo la capa de rodadura de un pavimento asfáltico. Debido a su proximidad con la superficie, debe poseer alta resistencia a la deformación, para soportar las altas presiones que se recibe (García y Ocampo, 2011, p. 34).

➤ **Subbase:**

Es la capa que está apoyada sobre la subrasante, compuesta por materiales granulares de buena gradación. (García y Ocampo, 2011, p. 34).

➤ **Subrasante:**

suelo de cimentación del pavimento, pudiendo ser suelo natural, debidamente perfilado y compactado; o material de préstamo, cuando el suelo natural es deficiente o por requerimiento del diseño geométrico de la vía a proyectar. (García y Ocampo, 2011, p. 35).

➤ **Bases estabilizadas con cemento:**

Las bases estabilizadas permiten el empleo de materiales locales y reciclados, teniendo como ventajas: subbases menos erosionables, reducción de esfuerzos de tensiones y de flexiones, mejoramiento de la transferencia de carga entre paños, entre otras. (Miranda y Gonzales, 2010, p. 76).

➤ **Asfalto:**

Es una mezcla sólida y compacta de hidrocarburos y de minerales que mayormente es empleada para construir el pavimento de las calzadas.

➤ **Asfalto Modificado:**

Mezcla de asfalto convencional con polímeros para una mejor vida útil.

➤ **Caucho:**

Sustancia elástica, impermeable y resistente que se obtiene a partir del jugo lechoso de ciertas plantas tropicales; se emplea en la fabricación de neumáticos, tuberías aislantes, etc. (Duarte, 2005, p. 15)

➤ **Estabilidad:**

Propiedad de un cuerpo de mantenerse en equilibrio estable o de volver a dicho estado tras sufrir una perturbación. (Duarte, 2005, p. 15)

➤ **Polímero:**

Sustancia química que resulta de un proceso de polimerización. (Angulo, 2005, p. 7)

➤ **Emulsiones asfálticas:**

Mezcla de asfalto con agua que con el emulsificante forman una **emulsión** estable que permite tender las carpetas **asfálticas** "en frío", es decir, a temperaturas menores a 100°C. (Rodríguez, 2005, p. 32).

➤ **Ahuellamiento:**

El ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la sub-rasante,

usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debidos a la carga del tránsito. (Cipriano, 2004, p. 14)

➤ **Los Elastómeros.**

Son un conjunto de materiales que formados por polímeros que se encuentran unidos por medio de enlaces químicos adquiriendo una estructura final ligeramente reticulada. (Coronado, 2011, p. 75)

➤ **Durabilidad.**

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. (Cipriano, 2004, p. 36)

➤ **Punto de Inflamación:**

Representa la temperatura a la cual un asfalto puede calentarse con seguridad, sin que éste se inflame en presencia de una llama. (Rodríguez, 2005, p. 45).

## CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODO

### 3.1. Materiales

#### 3.1.1 Poblacion

La poblacion de estudio de la presente investigacion se delimitó a las canteras que existen en la ciudad de Trujillo.

#### 3.1.2 Muestra

Para la presente investigación se utilizaron un modificador de caucho de llanta triturada, proveniente de la empresa SICONOR PERÚ S.A.C.

Además de ellos se utilizaron áridos como: hormigón y afirmado, provenientes de las empresas LEKERSA S.A. y LA SOLEDAD.

##### 3.1.2.1 Caucho de Llanta Triturada

El caucho de llanta triturada utilizado para el presente trabajo proviene de la empresa SICONOR PERÚ S.A.C.

“La composición del producto es caucho vulcanizado granulado proveniente de la unidad estratégica orientada al reciclaje, aprovechamiento y valoración de las llantas en desuso. Se obtiene a través de un proceso que se realiza por trituración mecánica y separación de los materiales que conforman las llantas”.

En la Tabla N° 06 se presenta la descripción técnica del producto realizada por el distribuidor.

**Tabla N° 05 Ficha Tecnica de Caucho Granulado**

<b>FICHA TECNICA</b>	
Descripción	Caucho Granulado
Densidad	1.109 gr/cm <sup>3</sup> a 25°C (según norma ASTM D792)

Forma Física	Gránulos de forma irregular
Rango de Dimensión	0.50 – 0.85 mm
% de presencia de Acero	Menos de 0.1%
% de presencia de Textiles	Menos de 0.1%

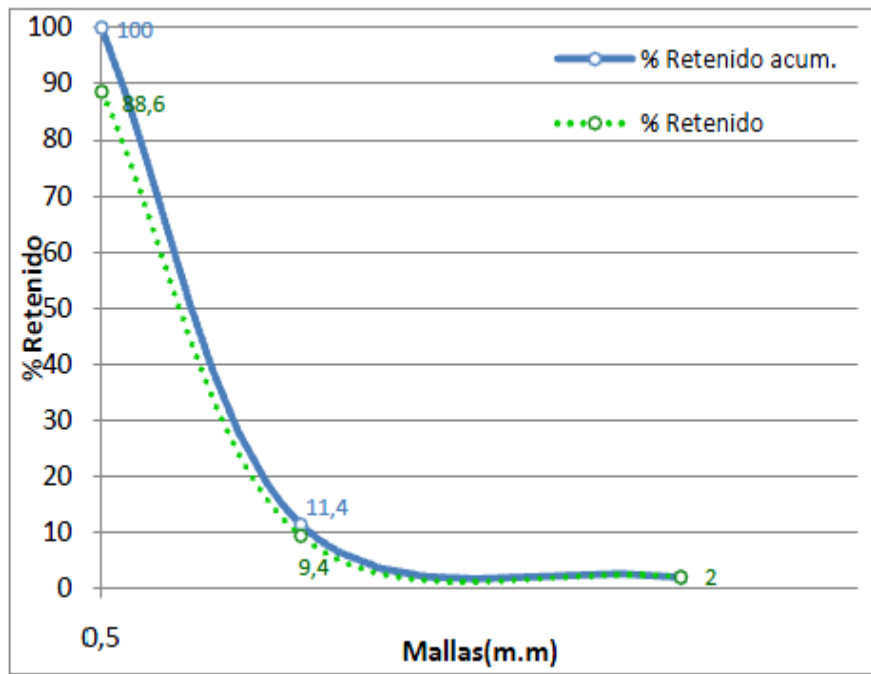


Figura 14 Curva granulométrica del caucho granulado



Figura Nº 15 Caucho granulado pasa malla 3

### 3.1.2.2 Hormigón- Afirmado



Los aridos como el hormigon y afirmado utilizados para la presente investigacion proviene de las canteras el milagro empresa LEKERSA S.A. y sector LA SOLEDAD



**Figura N°15 Áridos cantera LEKERSA S.A.**



**Figura N°16 Áridos canteras del sector La Soledad**

### **3.1.3 Unidad de Análisis**

La unidad de investigación de los áridos y del caucho se desarrolló en laboratorio a través de ensayos por lo que la unidad de análisis fue experimental.

## **3.2 Método**

### **3.2.1. Nivel de Investigación**

El nivel de investigación de la presente tesis por el propósito está basada en la relación a teorías de diferentes investigaciones ya realizadas.

### **3.2.2. Diseño de la investigación**

En la investigación se desarrolló una secuencia de pasos para lograr desarrollar los objetivos planteados a continuación se detalla la secuencia de ensayos realizados en laboratorio:

- Se procedió al desarrollo experimental del asfalto modificado realizando los siguientes ensayos en laboratorio:
- Prueba de penetración del asfalto modificado.
- Prueba de punto de ablandamiento aparato anillo y bola asfalto.
- Se realizó un análisis granulométrico por tamizado de los materiales de hormigón y afirmado.
- Se desarrolló el ensayo de contenido de humedad y peso específico para los áridos de las canteras LEKERSA S.A. Y LA SOLEDAD
- Se realizó la determinación de límite líquido y la determinación de límite plástico para los áridos de las canteras LEKERSA S.A. Y LA SOLEDAD



### 3.2.3. Variables de estudio y operacionalización

#### ✓ BASES ESTABILIZADAS:

Se refiere a la construcción de materiales tratados para ser empleados como sub-base y/o base de pavimentos de hormigón o asfalto, las cuales se refieren a suelos estabilizados para obtener resistencias a la compresión. (Loría, 2011, p. 45).

#### ✓ ASFALTO MODIFICADOS:

son asfaltos, que para mejorar algunas de sus propiedades, se les incorporan productos como polímeros, caucho molido, etc. Estos productos pueden ser disueltos o incorporados en el asfalto ya que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura. Esta modificación favorece sus propiedades físicas y reológicas, también disminuye su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación. (Rondón, 2014, p. 347).

## CAPITULO IV ENSAYOS DE LABORATORIO

### 4.1 PENETRACIÓN

#### 4.1.1 Definición

Norma establecida ASTM D-5. Esta prueba describe el procedimiento para determinar la consistencia de los materiales asfálticos, así como la calidad de los mismos.

La prueba permite determinar la consistencia de los cementos asfálticos, así como de los residuos por destilación de las emulsiones asfálticas y rebajados asfálticos, mediante la penetración vertical de una guja en una muestra de prueba de dichos materiales bajo condiciones establecidas de masa, tiempo, y temperatura.

El equipo para la ejecución de la prueba debe estar en condiciones óptimas para su uso, calibrado, limpio, completo en

todas sus partes y sin desgaste.

#### **4.1.2 Equipo**

##### **4.1.2.1 Aparato de penetración o penetrómetro para asfaltos.**

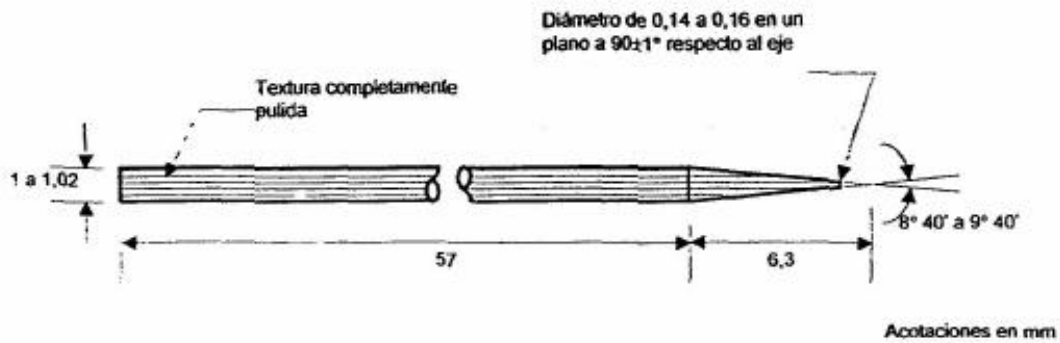
Como el mostrado en la Figura N° 24, capaz de sujetar una aguja de penetración, provisto de un dispositivo, extensómetro, para medir la profundidad de penetración de la aguja, en décimos de milímetro. También contará con un mecanismo que permita aproximar la aguja a la muestra y con pesas o lastres de 50 y 100gms.



**Figura N° 17 Penetrómetro**

##### **4.1.2.2. Agujas.**

De acero inoxidable, totalmente endurecidas y perfectamente pulidas, con la forma y dimensiones que se muestran en la Figura N° 25, que se acoplen al penetrómetro mediante un casquillo de bronce o de acero inoxidable, sobresaliendo de éste último entre 40 y 45 centímetros.



**Figura N° 18 Aguja para prueba de penetración.**

#### 4.1.2.3. Cápsulas de penetración.

De metal o de vidrio refractario, de forma cilíndrica y con el fondo plano; con diámetro interior de 55mm y altura interior de 35mm, para penetraciones menores de  $200 \times 10^{-1}$  mm; o diámetro de 70mm y altura interior de 45mm para penetraciones entre  $200$  y  $350 \times 10^{-1}$  mm.

#### 4.1.2.4. Baño de agua.

Con temperatura controlable hasta  $50^\circ\text{C}$  y aproximaciones de  $0.1^\circ\text{C}$ , con dimensiones y características tales que permitan una capacidad mínima de 10L.

Estará provisto de un entrepaño con perforaciones, colado a no menos de 5cm del fondo del baño y no a menos de 10cm de la superficie libre del líquido.

#### 4.1.2.5. Termómetro.

Con un rango de  $0$  a  $50^\circ\text{C}$  y aproximación de  $1^\circ\text{C}$ .

#### **4.1.2.6. Cronómetro.**

Con aproximación de 0.20seg.

#### **4.1.2.7. Recipiente de manejo.**

De metal, plástico o vidrio, de forma cilíndrica adecuada para manejar y mantener sumergida la cápsula de penetración que contenga la muestra de prueba; de 350 cm<sup>3</sup> de capacidad y con relieves en el fondo para evitar que la muestra que contiene se mueva durante el proceso de ensaye.

#### **4.1.2.8. Espátula de níquel**

De 20cm de longitud, cuando se prueben residuos por destilación.

#### **4.1.3. Procedimiento de la Prueba**

- Se coloca la cápsula de penetración que contiene la muestra de prueba dentro del recipiente de manejo, para introducirlos posteriormente en el baño de agua, cuando este mantenga una temperatura de 25°C o lo que se especifique para la prueba. Se sumerge dicho recipiente completamente y se mantiene así por un espacio de 2hrs, con el objeto de que el producto asfáltico adquiera esa temperatura.
- Se coloca el penetrómetro sobre una superficie plana, firme y sensiblemente horizontal, se le acopla la aguja y se lastra para que el elemento que se desplaza tenga una masa de 100±0.10g o la masa que se especifique para la prueba y finalmente se nivela perfectamente el penetrómetro.

- Se saca del baño de agua el recipiente de manejo, el cual contiene la muestra de prueba en su cápsula de penetración, cuidando que tenga agua suficiente para cubrir completamente la cápsula. Se colocan el recipiente y la cápsula sobre la base del penetrómetro, de tal manera que la muestra quede bajo la aguja. Se ajusta la altura de la aguja hasta que tenga contacto con la superficie de la muestra, lo que se logra haciendo coincidir la punta de la aguja con la de su imagen reflejada en la superficie de la muestra.
- Se hace coincidir la manecilla del penetrómetro con el cero de su carátula, hecho esto se oprime el sujetador para liberar la aguja únicamente durante 5 segundos, o durante el tiempo que se especifique para la prueba, después de lo cual se toma la lectura registrándola en décimos de milímetro.
- Se deben hacer por lo menos tres penetraciones sobre puntos diferentes de la superficie de la muestra de prueba, separándolos entre sí y de la pared de la cápsula de penetración 10mm como mínimo. Se limpiara cuidadosamente la aguja después de cada penetración sin desmontarla y, de ser necesario, para ajustar la temperatura a 25°C o a la especificada para la prueba, se regresara el recipiente de manejo con la muestra al baño de agua. Para la limpieza de la aguja se utilizara un paño humedecido con tricloroetileno, y después un paño seco y limpio.
- Para materiales asfálticos suaves, con penetraciones mayores de 225 x 10 -1 mm, se tiene que emplear por lo menos tres agujas, las que se deben ir dejando

introducidas en la muestra de prueba al hacer las penetraciones.

#### **4.1.4. Cálculos**

Se reporta como resultado de la prueba, el promedio de las profundidades a las que haya entrado la aguja en por lo menos tres penetraciones, expresadas en décimos de milímetro y con aproximación a la unidad, valor conocido también como “grado de penetración”. Las penetraciones utilizadas para el cálculo del promedio, deben estar dentro de las diferencias permisibles, de lo contrario la prueba se repetirá.

En el reporte quedaran asentados la temperatura, la masa y el tiempo de penetración con los que se realicen la prueba.

## **4.2 PUNTO DE ABLANDAMIENTO POR ANILLO Y ESFERA.**

### **4.2.1 Definicion**

Norma ASTM D 36. La prueba para obtener el punto de Ablandamiento por anillo y esfera, tiene como objetivo estimar la consistencia de los cementos asfálticos, se basa en la determinación a la cual una esfera de acero produce una deformación de 25mm, en una muestra de asfalto sostenida en un anillo horizontal, que se calienta gradualmente dentro de un baño de agua o glicerina.

El equipo para la ejecución de la prueba debe estar en condiciones óptimas para su uso, calibrado, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste. Todos los materiales deben ser de calidad y emplearse dentro de la fecha de caducidad.

## 4.2.2 Equipo

### 4.2.2.1 Anillos.

Dos anillos de latón, con el diseño y dimensiones señalados en la siguiente

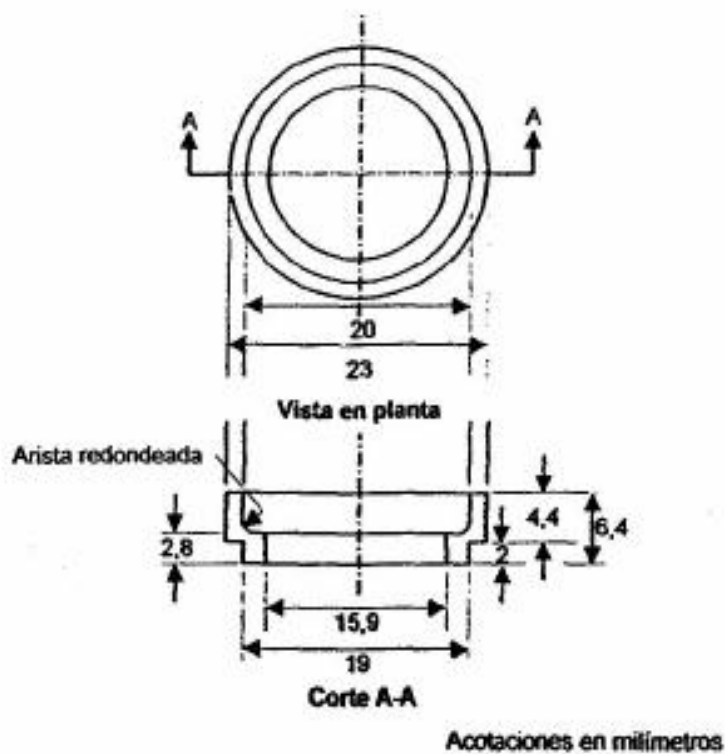


Figura N° 19 Anillo para prueba de Ablandamiento.

### 4.2.2.2 Vasos de vidrio refractario.

Con diámetro interior mínimo de 85mm y altura de 120mm.

### 4.2.2.3 Sistema de soporte

Un porta anillos de latón, con la forma y dimensiones señaladas en la Figura N° 27, con un soporte de metal resistente a la corrosión, integrado por dos columnas

que sostengan al porta anillos y una placa rectangular inferior, de forma que la distancia entre la parte inferior de aquel y la superior de ésta sea de 25mm, y sujetas a una placa circular que sirva de tapa para el vaso refractario. El soporte debe estar dispuesto de manera que la parte inferior de la placa rectangular se ubique a  $16 \pm 3$ mm del fondo del vaso, como se muestra en la Figura N°28.

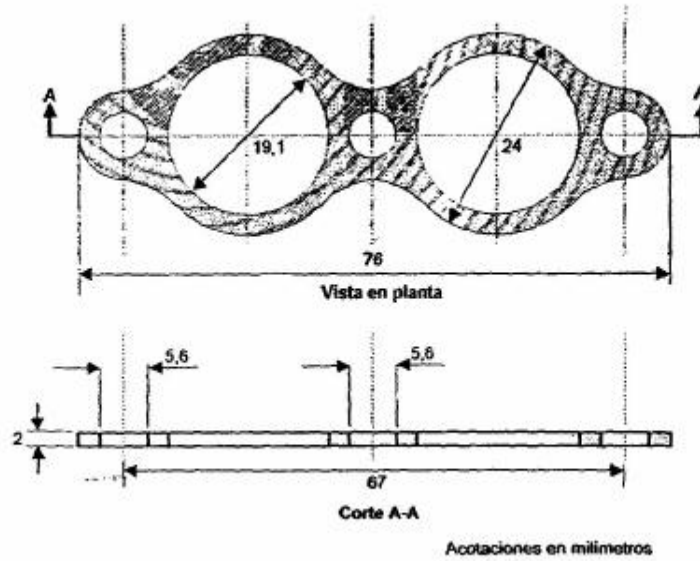


Figura N° 20 Por taanillos para la prueba de punto de Ablandamiento.

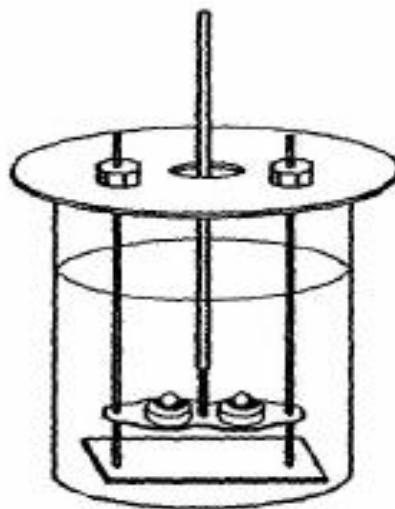


Figura N° 21 Montaje del sistema de soporte.



#### 4.2.2.4 Esferas

Dos esferas de acero, de 9.5mm de diámetro y de  $3.5 \pm 0.05$ g de masa.

#### 4.2.2.5 Guías

Dos guías de latón para centrar las esferas, con la forma y dimensiones mostradas en la Figura N° 29.

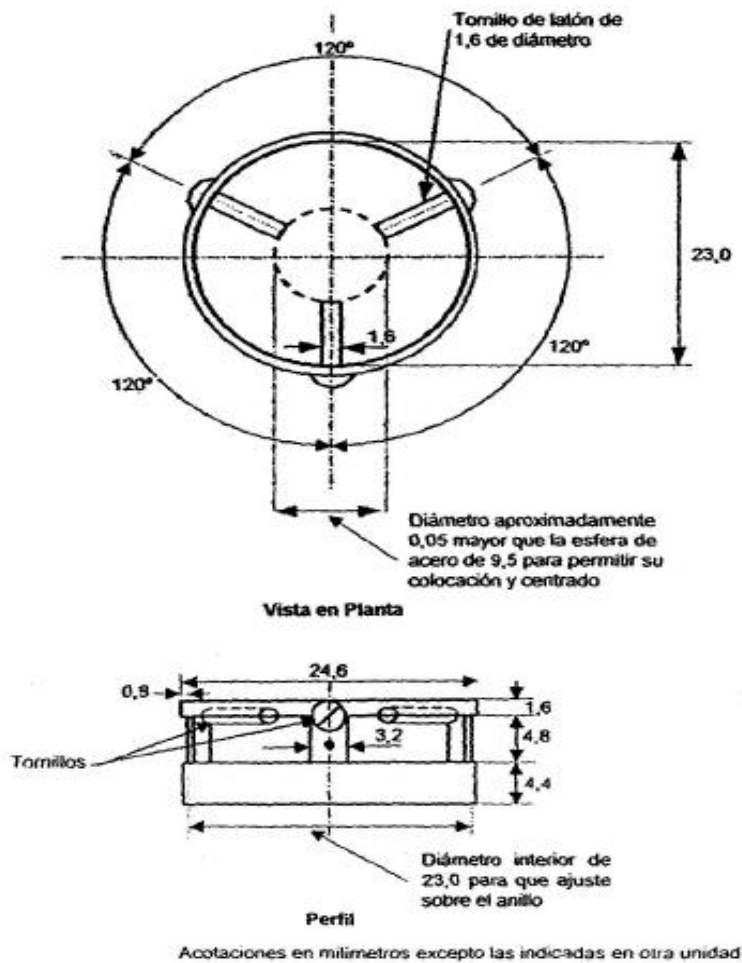


Figura N° 22 Guia para centrar la esfera.

#### **4.2.2.6 Placa de apoyo**

Plana, lisa y rígida, de latón o bronce, de 5 x 10cm como mínimo.

#### **4.2.2.7 Parrilla eléctrica o mechero**

Adaptada para controlar la aplicación de calor. Si se emplea un mechero, se debe proteger de las corrientes de aire o de la radiación excesiva, mediante una pantalla que no sobresalga del nivel inferior del vaso.

#### **4.2.2.8 Termómetro**

De inmersión total con escala rango de  $-1$  a  $175^{\circ}\text{C}$  y aproximación de  $0.5^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.2.2.9 Pinzas**

Adecuadas para manejar las esferas.

#### **4.2.2.10 Espátula o cuchillo**

De acero flexible, de 15mm de ancho y 150mm de largo.

#### **4.2.2.11 Agua limpia o glicerina**

Agua potable cuando se prueben cementos asfálticos con punto de reblandecimiento menor de  $80^{\circ}\text{C}$  o glicerina para temperaturas mayores.

#### **4.2.2.12 Antiadherente.**

Aceite o grasa de silicón, una mezcla de glicerina y dextrina; talco o caolín, para recubrir la placa de apoyo y evitar su adherencia con el asfalto.

### 4.2.3 Procedimiento

- Se ensambla el sistema de soporte colocando en su lugar los anillos con la muestra de prueba, las guías y el termómetro de manera que la parte inferior de su bulbo quede al mismo nivel que la parte inferior de los anillos, sin que toque las paredes del orificio central del porta anillos. Se llena el vaso de vidrio hasta una altura de 10cm, con agua potable a  $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$  si el punto de reblandecimiento esperado es menor a  $80^{\circ}\text{C}$  o glicerina a  $30 \pm 1^{\circ}\text{C}$  si es mayor y con las pinzas se colocan las esferas en el fondo del vaso. Se introduce en el vaso el sistema de soporte y se deja el conjunto durante 15minutos, manteniéndolo a la temperatura indicada para el líquido que se utilice, introduciendo el vaso en agua helada si es necesario.
- Se extrae el sistema de soporte, con las pinzas se colocan las esferas en las guías e inmediatamente se vuelve a introducir en el vaso, quedando el montaje del equipo como se muestra en la Figura N° 28.
- Se coloca el conjunto en la parrilla eléctrica o mechero y se incrementa uniformemente la temperatura del líquido a razón de  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , con una tolerancia  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  en lecturas hechas cada minuto después de los primeros 3 minutos.
- Se registra para cada anillo la temperatura en el momento en que el material asfáltico toque la placa inferior del soporte, con aproximación de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . Las temperaturas registradas no deben diferir entre si en más de  $1^{\circ}\text{C}$ , de lo contrario se debe repetir la prueba utilizando una nueva muestra de prueba.

#### **4.2.4 Resultados**

Se reporta como punto de Ablandamiento el promedio de las temperaturas registradas como se indica en el último punto del procedimiento, con aproximación de 0.5° C.

### **4.3 RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN (CEDES NLT – 329 – 91).**

#### **4.3.1 Definición**

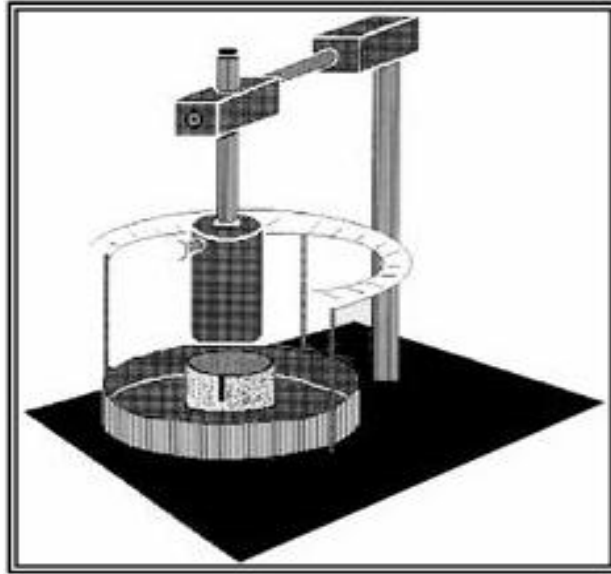
La finalidad de esta prueba es determinar la elasticidad que presentan los cementos asfálticos modificados, en particular con polímeros de aplicación en la construcción de carreteras.

En el procedimiento que se describe, un cilindro de dimensiones especificadas, se sumerge en la muestra del ligante bituminoso modificado. Mediante un dispositivo de torsión se gira el cilindro 180° y se determina, después de 30min, el ángulo recuperado por el cilindro.

#### **4.3.2 Equipos**

##### **4.3.2.1 Aparato de torsión.**

Un aparato, para imponer un esfuerzo de torsión a la muestra, con las dimensiones y la forma de la Figura N°30, constituido fundamentalmente por un cilindro metálico, semicorona con escala graduada de 0 a 180°, baño de agua y recipiente para la muestra.



**Figura N° 23 Equipo de Torsión**

#### **4.3.2.2 Termómetro.**

Termómetro para controlar la temperatura del baño de agua, graduado en  $0.1^{\circ}\text{C}$  y escala de  $19$  a  $27^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.3.2.3 Cronómetro para medir tiempos de $30\text{min} \pm 1\text{seg}$ .**

Material de uso general en laboratorio, estufa, cápsula, varillas, vidrio, espátulas, disolvente, etc.

#### **4.3.3 Procedimiento**

- Se adoptan todas las medidas y precauciones necesarias para que la porción de muestra para el ensayo sea representativa de la muestra de laboratorio, que a su vez presentará aspecto homogéneo y no estará contaminada.
- Una cantidad suficiente de la muestra de laboratorio se calienta con cuidado y con agitación continua hasta conseguir una consistencia de la misma.
- Se ajusta el cilindro del aparato por torsión, de forma que su base inferior quede a una distancia de  $20\text{mm}$  del

fondo del recipiente para ensayo, situado en posición centrada, y ajustado en el resalte, que para tal fin se dispone en el fondo del baño.

- Se transfiere, por vertido, la muestra al recipiente de ensayo en cantidad bastante para enrasarla con la marca gravada que dispone el cilindro a 10mm de su base inferior.
- Se deja enfriar el conjunto recipiente – muestra temperatura ambiente, durante una hora como mínimo. A continuación, se hace circular agua por el baño termostático a temperatura de  $25 \pm 0.1^\circ \text{C}$  durante al menos 90min, para equilibrar la temperatura del agua del baño y de la muestra. El nivel del agua estará por encima del recipiente.
- Transcurridos los 90min, antes referidos, se introduce el pasador en el alojamiento que a defecto tiene el cilindro, y con su ayuda se hace girar este  $180^\circ$  en sentido de las manecillas del reloj  $180$  a  $0^\circ$ , en un tiempo comprendido entre 3 y 5 segundos. Inmediatamente se retira de su alojamiento el pasador y después de 30 minutos,  $\pm 1\text{seg}$  se procede a la lectura indicada por la varilla sobre la semi-corona graduada. La lectura al final del ensayo es el valor del ángulo recuperado.

#### 4.3.4 Resultados

El resultado del ensayo se expresa, como “recuperación elástica por torsión”, en porcentaje del ángulo recuperado con respecto al inicial de  $180^\circ$ .

$$\text{Recuperación elástica por torsión} \quad Re = \frac{L}{100} \cdot 180$$

Donde L = Ángulo recuperado.

## **4.4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO.**

### **4.4.1 Definición**

Norma ASTM D-422. La clasificación granulométrica, es la medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

### **4.4.2 Equipos**

#### **4.4.2.1 Balanzas.**

Con sensibilidad de 0.01 g para pesar material retenido hasta el tamiz N° 4. Otra con sensibilidad 0.1 % del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos desde el tamiz N° 8 hasta el tamiz N° 200 (incluyendo el material que pasa el tamiz N° 200).

#### **4.4.2.2 Tamices de malla**

Tamices de malla cuadrada Serie Gruesa 76.2 mm (3"), 50.8 mm (2"), 38.1 mm (1-½"), 25.4mm (1"), 19.0 mm (¾"), 9.5 mm (3/8"), 4.76 mm (N ° 4) Serie Fina 2.3mm (N° 8), 2.00 mm (N ° 10), 0.84 mm (N ° 20), 0.59mm (N° 30), 0.42 mm (N ° 40), 0.297mm (N° 50), 0.25mm (N° 60), 0.177mm (N° 80), 0.149mm (N° 100) ,0.074mm (N° 200).

#### **4.4.2.3 Horno**

Horno capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110 +-5°C (230 +- 9 °F). 3.1.2.4.- Envases, adecuados para el manejo y secado de las muestras.

#### **4.4.2.4 Cepillo y brocha**

Cepillo y brocha para limpiar las mallas de los tamices.

#### **4.4.3 Procedimiento**

Para realizar el análisis granulométrico por tamizado se procede de dos formas: Por cuarteo y usando todo el Agregado Grueso, pudiéndose combinar ambos métodos. Al final de cualquiera de los dos métodos llegamos a determinar la distribución del agregado de acuerdo al tamaño de sus partículas.

##### **a) Por Cuarteo**

El cuarteo es el proceso de reducir una muestra representativa a un tamaño conveniente, o de dividirla en dos o más partes para efectuar ensayos con ellas.

Se realiza sobre todo en muestras cuya grava no es limpia, sino que contiene mucho material arcilloso que rodea al agregado grueso. Esto ocurre generalmente en afirmado o en muestras que contienen alto material de diámetro menor al del tamiz N° 200 (material arcilloso). Para ello se procede de la siguiente manera:

- Se extiende la muestra en una superficie limpia y llana o sobre una lona, y se mezcla con una pala. Se hace de modo que el material se deposite en forma cónica, y luego se aplasta el cono con la pala formando una capa circular de espesor uniforme.
- Con una escuadra o tablón rectangular de madera, se divide en 4 partes aproximadamente iguales, se escogen dos partes opuestas y se unen, desechándose las otras dos.
- Se repite esta operación hasta tener la cantidad de material necesario para el análisis, más o menos 2 a 3 Kg.
- Se seca en horno durante 16 horas a una temperatura de 110 grados centígrados o a la intemperie si el clima lo permite, hasta que tenga peso constante.
- Se disgregan los terrones arcillosos del material. Se pesa la muestra seca sin lavar y se anota como P1 (Peso de la muestra secada al horno).



- Si se pesa la muestra en una bandeja, se descuenta el Peso de la misma:
- $P1 = \text{Peso (bandeja + muestra)} - \text{Peso bandeja}$ .
- Se lava, vertiendo el agua con material suspendido en el tamiz N° 200, y se elimina el material que pasa por dicho tamiz, que vendría a ser la parte de arcilla del agregado.

Cuando el agregado contiene un material arcilloso, es preferible antes de lavarlo dejarlo en remojo por unas horas para que se disuelva la arcilla.

Con la finalidad de no maltratar el tamiz N° 200, se puede lavar la grava separada del fino, para verter sobre esta malla solo material fino que no la deteriora.

- Se seca la muestra lavada en horno a 110 grados por 16 horas, hasta que tenga peso constante. Una manera práctica de observar si el material está completamente seco, es colocar un vidrio sobre la muestra, si se empaña es que todavía contiene humedad, si no se empaña, la muestra está seca.
- Se colocan los tamices ordenados en forma descendente en cuanto a su diámetro para que los diámetros mayores queden arriba, siendo la última en colocar la malla N° 200, debajo de la cual se coloca una base.
- Se pasa el agregado por los tamices y se agita el tiempo necesario hasta que no pase muestra al siguiente tamiz o a la base. Para lograr esto en el agregado fino el tiempo de agitación debe ser aproximadamente 15'. Es preferible realizar por separado el tamizado del agregado fino y grueso, para lo cual se hace pasar primero el material por la malla N° 4.
- Se debe contar con otra base o fondo para tamizar por separado cada malla debajo de la cual se coloca la misma y se tamiza hasta que no pase material a ésta, lo que pasa se coloca en el tamiz siguiente. El material que queda retenido en el tamiz se coloca en la base y luego se pesa. En el caso del agregado grueso es fácil

colocarlo en la base, en el agregado fino es necesario usar una escobilla para limpiar la malla y de este modo no perder material.

- Se procede de la misma manera con cada uno de los tamices, anotándose en cada uno el peso que retiene. También se anota el material que queda en la base de bajo de la malla N° 200. Esto nos permite verificar si no hay error: Se puede anotar el peso seco lavado antes de pasarlo por los tamices, entonces 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. Sin embargo en la práctica siempre hay una pequeña diferencia pero debe ser mínima

#### **b) Considerando Todo el Agregado Grueso.**

Cuando la grava está limpia es decir sin mucho material fino impregnado, se puede trabajar con toda ésta.

- Extendemos todo el material y lo dejamos secar por lo menos 24 horas exponiéndola al sol o en ambiente cerrado seco. Este tiempo puede prolongarse si la muestra está muy húmeda.
- Pesamos todo el material (PT).
- Tamizamos el material por la malla N° 4.
- Tamizamos la grava por los distintos tamices desde el tamaño mayor hasta la malla N° 4, anotando el peso retenido en cada tamiz.
- Tomamos un peso determinado del agregado Fino (que en nuestro caso fue de 1000 gr. a 1500 gr.) lo que se conoce como fracción.
- Lavamos la muestra eliminando lo que pasa la malla N° 200, de manera similar al explicado en el método del cuarteo, secamos después la muestra en el horno a 110°C hasta que tenga peso constante.
- Tamizamos la porción de agregado fino por los distintos tamices menores a la malla N° 4 hasta la N° 200 y anotamos el peso retenido en cada uno de los tamices,

#### 4.4.4 Cálculos.

##### a) Para Método del Cuarteo.

- La suma de los pesos retenidos en los distintos tamices hasta el tamiz N° 200 es P2 (Peso de la muestra lavada y secada al horno).

- La diferencia entre el peso inicial (P1) y el peso de la muestra lavada y secada al horno es el material que pasa la malla N° 200

Material que pasa la malla N° 200 = P1-P2

- Porcentajes retenidos y que pasan cada malla:

$$\% \text{ parcial retenido en un tamiz} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz} \times 100}{P1}$$

$$\% \text{ que pasa la malla N}^\circ 200 = \frac{(P1-P2) \times 100}{P1}$$

% Acumulado retenido en un tamiz = Suma de % parciales retenidos hasta dicho tamiz.

% Acumulado que pasa cada malla = 100 - % acumulado retenido en dicha malla.

##### b) Considerando Todo el agregado.

- Peso de la grava: Suma de los pesos retenidos en los distintos tamices hasta el tamiz N° 4 (Pg).

- Peso de Agregado fino: Diferencia entre el peso total y el peso de grava Pf = Pt - Pg

$$\% \text{ Agregado Grueso} = Pg \times 100/Pt$$

$$\% \text{ Agregado Fino} = Pf \times 100/Pt$$

- Porcentajes retenidos en cada malla :

Agregado Grueso:

Desde el tamiz de mayor tamaño hasta el N° 4:

$$\% \text{ parcial retenido en un tamiz} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz} \times 100}{P1}$$

- Agregado Fino:

Para tamices menores de la malla N° 4:

P2 entre la suma de los pesos retenidos en los distintos tamices hasta el tamiz N° 200.

Material que pasa la malla N° 200 = P1 – P2

Peso parcial retenido en un tamiz =  $\frac{\text{Peso retenido en el tamiz} \times \% \text{ A.F.} \times 100}{P1}$

P1

## 4.5 DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECIFICO.

### 4.5.1 Definición

Norma ASTM D 804. Es la relación entre el peso en el aire de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y el peso en el aire del mismo volumen de agua destilada, a la misma temperatura.

### 4.5.2 Equipos

#### 4.5.2.1 Frasco volumétrico (Picnómetro)

100 a 500 cm<sup>3</sup> de capacidad.

#### 4.5.2.2 Bombas de vacío

Tuberías y uniones, o en su defecto un mechero o un dispositivo para hervir el contenido del picnómetro.

#### 4.5.2.3 Horno

Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta 110 ± 5°C (230 ± 9°F).

#### 4.5.2.4 Balanzas

Una capacidad de 1200g y sensibilidad de 0.01g y otra con capacidad de 200g y sensibilidad de .001g.

#### 4.5.2.5 Termómetro graduado

Con una escala de 0 a 50°C (32 a 122°F) y con precisión de 0.1°C (0.18°F).

### 4.5.3 Procedimiento

**Suelos con su humedad natural.**- El procedimiento para determinar el peso específico de los suelos a su humedad natural deberá consistir de los siguientes pasos:

- Anótese en una planilla de datos toda la información concerniente a la muestra como: obra, No. de sondeo, No. de la muestra y cualquier otro dato pertinente.

-Colóquese en la cápsula de evaporación una muestra representativa del suelo. La cantidad necesaria se escogerá de acuerdo con la capacidad del picnómetro.

Capacidad del picnómetro Cantidad requerida aproximada.

100 cm<sup>3</sup> 25 - 35 g.

250 cm<sup>3</sup> 55 - 65 g.

500 cm<sup>3</sup> 120 - 130 g.

Empleando una espátula, mézclese el suelo con suficiente agua destilada o desmineralizada, hasta formar una masa pastosa; colóquese luego la mezcla en el picnómetro y llénese con agua destilada hasta aproximadamente la mitad del frasco.

- Para remover el aire atrapado, conéctese el picnómetro a la línea de vacío hasta obtener una presión absoluta dentro del frasco no mayor de 100 mm de mercurio. El tiempo de aplicación del vacío dependerá del tipo de suelo ensayado. Un esquema de un sistema elemental de aplicación de vacío.

Como proceso alternativo, el aire atrapado puede ser removido calentando la suspensión levemente durante un período mínimo de 10 minutos, rotando ocasionalmente el picnómetro para facilitar la expulsión de aire. El proceso de calentamiento debe adelantarse con mucho cuidado, porque pueden ocurrir pérdidas de material. Las muestras que sean calentadas, deberán dejarse enfriar a la temperatura ambiente.

Algunos suelos hierven violentamente al someterlos a una presión de aire reducido. En esos casos, es necesario aplicar una

reducción gradual de la presión o utilizar un frasco de mayor tamaño.

- Llénese el picnómetro con agua destilada y sin burbujas de aire, hasta 2 cm por debajo de la marca y aplíquese vacío nuevamente hasta que a la suspensión se le haya extraído la mayor parte del aire; remuévase con cuidado el tapón del picnómetro y obsérvese cuánto baja el nivel del agua en el cuello. Si la superficie de agua baja menos de 3 mm no es necesario seguir aplicando vacío. En el caso en que la superficie del agua baje más de 3 mm, se deberá seguir aplicando vacío hasta lograr esta condición.

La remoción incompleta del aire atrapado en la suspensión del suelo es la causa más importante de error en la determinación de pesos específicos y tenderá a bajar el peso específico calculado. Se deberá extraer completamente el aire de la suspensión aplicando vacío o calentando. La ausencia de aire atrapado debe ser verificada como se describió durante el ensayo. Es conveniente destacar que el aire disuelto en el agua no afectará los resultados; por lo tanto, no es necesario aplicar vacío al picnómetro cuando se calibra o se llena hasta la marca de calibración con agua destilada o desmineralizada sin burbujas de aire.

- Llénese el picnómetro con agua destilada hasta que el fondo del menisco coincida con la marca de calibración en el cuello del picnómetro. Séquese completamente la parte exterior del picnómetro y, usando un papel absorbente, remuévase con cuidado la humedad de la parte interior del picnómetro que se encuentra por encima de la marca de calibración.

Pésese el picnómetro y su contenido con una aproximación de 0.01 g.

Inmediatamente después de la pesada, agítese la suspensión hasta asegurar una temperatura uniforme y determínese la temperatura de la suspensión con una aproximación de 0.1°C introduciendo un termómetro hasta la mitad de la profundidad del picnómetro.

Una gota de agua puede hacer que se cometa un error de aproximadamente 0.05 g. Este error puede ser minimizado tomando el promedio de varias lecturas a la misma temperatura. Cuando la suspensión sea opaca, una luz fuerte detrás del cuello del picnómetro puede ser de gran ayuda para ver la base del menisco.

Cuando se determina el peso específico y se calibra el picnómetro, debe tenerse extremo cuidado para asegurar que las medidas de temperatura sean representativas del picnómetro y su contenido, durante la realización de las pesadas.

- Transfírase con mucho cuidado el contenido del picnómetro a una cápsula de evaporación.

Enjuáguese el picnómetro con agua destilada, hasta asegurarse que toda la muestra ha sido removida de él. Introdúzcase la cápsula de evaporación con la muestra en un horno a  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $221 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ), hasta peso constante.

Sáquese la muestra seca del horno, déjese enfriar a la temperatura del laboratorio y determínese el peso del suelo seco con una aproximación de 0.01 g.

Anótense todos los resultados en la planilla.

**Suelos secados al horno.**- El procedimiento para determinar el peso específico de los sólidos en suelos secados al horno, debe consistir de los siguientes pasos:

- Anótese en la planilla toda la información requerida para identificar la muestra.

- Séquese el suelo al horno hasta obtener la condición de peso constante.

El horno debe estar a una temperatura de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $221 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ). Sáquese la muestra del horno y déjese enfriar a la temperatura del laboratorio; debe protegerse contra una ganancia de humedad hasta que sea pesada.

Selecciónese una muestra representativa; la cantidad requerida dependerá de la capacidad del picnómetro que se va a utilizar. Pésese la muestra con aproximación de 0.01 g.

Después de pesado, transfírase el suelo al picnómetro teniendo mucho cuidado de no perder material durante la operación. Para evitar posibles pérdidas del material previamente pesado, la muestra puede ser pesada después de que se transfiera al picnómetro. Esta eventual pérdida bajará el valor del peso específico calculado.

Llénese el picnómetro hasta la mitad de su contenido con agua destilada sin burbujas de aire y déjese reposar la suspensión durante la noche.

El secado de ciertos suelos a 105°C (221°F), puede causar la pérdida del agua absorbida y de cristalización; en tales casos, el secado se hará a una temperatura de 60°C (140°F) y se recomienda aplicar una presión de vacío más baja.

- Extráigase el aire atrapado dentro de la suspensión del suelo en agua por uno de los dos métodos descritos en el numeral 6.1.
- Si la extracción de aire se realizó calentando la suspensión, déjese enfriar el picnómetro y su contenido durante la noche.
- Realícense los pasos subsiguientes del ensayo en la misma forma que los indicados para suelos a su humedad natural.

#### 4.5.4 Cálculos

Las siguientes cantidades se obtienen por pesada directa.

**a) Peso del picnómetro + agua + sólidos a la temperatura del ensayo =  $W_1$  (g).**

**b) Peso de la tara + suelo seco (g).** El peso de la tara debe ser restado de este valor para obtener el peso del suelo seco,  $W_0$ .

El peso específico de los sólidos se calcula con dos decimales, mediante la siguiente fórmula:



$$G_s = \frac{W_0 \times K}{W_0 + W_2 - W_1}$$

Donde:

K = Factor de corrección basado en el peso específico del agua a 20°C

W2 = Peso del picnómetro más agua a la temperatura del ensayo, en gramos.

W0 = Peso del suelo seco (g).

W1 = Peso del picnómetro + agua + suelo (g).

## 4.6 DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD.

### 4.6.1 Definición

Norma ASTM D-2216 – 98. La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

### 4.6.2 Equipo

**4.6.2.1 Horno de secado.-** Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5°C.

**4.6.2.2 Balanzas.-** De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones: de 0.1 g para muestras de menos de 200 g de 0. 1 g para muestras de más de 200 g

**4.6.2.3 Recipientes.-** Recipientes apropiados fabricados de material resistente a la corrosión, y al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento o calentamiento continuo, exposición a materiales de pH variable, y a limpieza

#### 4.6.3 Procedimiento

- Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco (y su tapa si es usada).
- Seleccionar especímenes de ensayo representativos de acuerdo lo indicado en anteriormente.
- Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza (véase APARATOS) seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Registrar este valor.
  
- Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. Mantener el secado en el horno a  $110 \pm 5$  °C a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo requerido para obtener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo de horno y capacidad, y otros factores. La influencia de estos factores generalmente puede ser establecida por un buen juicio, y experiencia con los materiales que sean ensayados y los aparatos que sean empleados.
  
- Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (y se le colocará la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado. Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza. Las tapas de los contenedores se usarán si se presume que el espécimen está absorbiendo humedad del aire antes de la determinación de su peso seco.

#### 4.6.4 Cálculos

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

W = es el contenido de humedad, (%)

WW = Peso del agua

WS = Peso seco del material

W1 = es el peso de tara más el suelo húmedo, en gramos

W2 = es el peso de tara más el suelo secado en horno, en gramos:

Wt = es el peso de tara, en gramos

### 4.7 DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO.

#### 4.7.1 Definición

El límite líquido está definido, como el contenido de humedad con el cual una masa de suelo colocada en un recipiente en forma de cuchara (aparato de Casagrande), se separa con una herramienta patrón (ranurador), se deja caer desde una altura de 1 cm. y sufre el cierre de esa ranura en 1 cm. después de 25 golpes de la cuchara contra una base de caucho dura o similar.

#### 4.7.2 Equipo

**4.7.2.1 Aparato de límite líquido (máquina de Casagrande),** el que consiste en una taza (cuchara) de bronce con una masa de  $200 \pm 20$  grs., montada en un dispositivo de apoyo fijado a

una base de caucho, madera o plástico duro.

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

**4.7.2.2 Acanalador (Casagrande o ASTM)**, mango de calibre de 1 cm. para verificar altura de caída de la cuchara

**4.7.2.3 Plato de evaporación de porcelana** de 120 mm. de diámetro.

**4.7.2.4 Horno de secado** con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ .

**4.7.2.5 Balanza de precisión** de 0,01 gr.

#### **4.7.3 Procedimiento**

- Se pone la muestra en el plato de evaporación agregándole suficiente cantidad de agua destilada, mezclando con la espátula hasta lograr una pasta homogénea. Esta muestra debe curarse durante el tiempo que sea necesario para lograr una adecuada distribución de la humedad.

- Se coloca el aparato de límite líquido sobre una base firme (verificando que esté limpia y seca) y se deposita en la taza unos 50 a 70 grs. del material preparado previamente, para luego alisar la superficie con la espátula, de modo que la altura obtenida en el centro sea de 10 mm. y la masa ocupe un volumen de 16 cm<sup>3</sup> aproximadamente. Una vez enrasado, se pasa el acanalador para dividir la pasta en dos partes, a través de un surco de 63 mm. de longitud. Si se presentan desprendimientos de la pasta en el fondo de la taza, se debe retirar todo el material y reiniciar el procedimiento.

- Cuando se tiene el surco, se gira la manivela del aparato con una frecuencia de 2 golpes por segundo, contando el número de

golpes necesarios para que la ranura cierre en 10 mm. de longitud en el fondo de ella. Finalmente, se toman aproximadamente 10 grs. del material que se junta en fondo del surco para determinar la humedad.

- El material sobrante se traslada al plato de evaporación para mezclarlo nuevamente con agua destilada y repetir el procedimiento por lo menos 2 veces más, de modo de obtener tres puntos que varíen en un rango de 15 a 35 golpes (ideal es tomar 5 puntos). Es importante señalar que el ensayo se debe realizar desde la condición más húmeda a la más seca.

#### **4.7.4 Cálculos**

- Calcular la humedad de cada prueba de acuerdo al procedimiento del ensayo de humedad.
- Construir un gráfico semi-logarítmico, donde la humedad será la ordenada (en escala natural) y el número de golpes (N), la abscisa. En el gráfico, dibujar los puntos correspondientes a cada una de las tres o más pruebas y construir una recta llamada curva de flujo, pasando tan aproximadamente como sea posible por dichos puntos.
- Expresar el límite líquido (LL) del suelo, como la humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la abscisa en 25 golpes, aproximando al entero más próximo. Este dato también puede interpolarse matemáticamente con  $N=25$  golpes, obteniendo así el límite líquido.

## **4.8 DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO.**

### **4.8.1 Definición**

El límite plástico se ha definido arbitrariamente como el contenido de humedad del suelo al cual un cilindro de éste, se rompe o resquebraja al amasado presentando un diámetro de aproximadamente 3 mm.

### **4.8.2 Equipo**

#### **4.8.2.1 Probeta de 25 ml. de capacidad**

#### **4.8.2.2 Placa de vidrio es merilado o mármol como superficie de amasado.**

#### **4.8.2.3 Plato de evaporación de porcelana de 120 mm. de diámetro.**

#### **4.8.2.4 Horno de secado** con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$ C.

#### **4.8.2.5 Balanza de precisión** de 0,01 gr.

### **4.8.3 Procedimiento**

- La muestra de ensayo se prepara de manera idéntica a la descrita en el límite líquido, o bien puede usarse la misma muestra que se usó en ese ensayo, en la etapa en que la pasta de suelo se vuelva lo suficientemente plástica para moldearla como una esfera..

- Se toma una porción de suelo de aproximadamente  $1 \text{ cm}^3$ , se amasa entre las manos y se hace rodar con la palma de la mano o la base del pulgar, por sobre la superficie de amasado,

formando un cilindro. Cuando se alcance un diámetro aproximado a 3 mm. se dobla y amasa nuevamente, para volver a formar el cilindro, lo que se repite hasta que el cilindro se disgregue al llegar al diámetro de 3 mm. en trozos de tamaño de 0,5 a 1 cm. de largo y no pueda ser reamasado ni reconstituido.

- El contenido de humedad que tiene el suelo en ese momento representa el límite plástico, el cual se determina colocando las fracciones de suelo en un recipiente, secándolas al horno.

- Se deben hacer tres determinaciones que no difieran entre sí en más de 2%, en caso contrario deberá repetirse el ensayo.

#### 4.8.4 Cálculos

Calcular el límite plástico (LP) del suelo, como el promedio de las tres determinaciones realizadas.

- Calcular el índice de plasticidad (IP), mediante la siguiente expresión:

$$IP = LL - LP (\%)$$

donde:

LL = límite líquido del suelo (%)

LP = límite plástico del suelo (%)

- Con los datos de LL, LP y la humedad natural (w) del suelo, calcular el índice líquido (IL) y el índice de consistencia (IC) del suelo, mediante las siguientes expresiones:

$$IL = (w - LP) / IP$$

$$IC = (LL - w) / IP$$

### 4.9 CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

#### 4.9.1 Definición

Referencia ASTM D-1883, AASHTO T-193, El CBR mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada.

El método CBR comprende los 3 ensayos siguientes:

- Determinación de la densidad y humedad.
- Determinación de las propiedades expansivas del material.
- Determinación de la resistencia a la penetración.

#### **4.9.2 Equipo.**

##### **4.9.2.1 Aparato para medir la expansión**

Compuesto por una placa metálica provista de un vástago ajustable de metal con perforación de diámetro menor o igual a 1,6 mm. y un trípode metálico para sujetar el calibre comparador con indicador de dial.

##### **4.9.2.2 Prensa de ensayo de capacidad mínima de 44 KN**

Base móvil a una velocidad de 1,25 mm/min para presionar el pistón de penetración en la probeta. Este equipo debe estar provisto de un dispositivo indicador de carga con lecturas de curso no menor que 50 mm.

**4.9.2.3 Molde metálico, cilíndrico de diámetro interior de 152,4 ± 0,7 mm. y altura de 177,8 ± 0,1 mm.** Debe tener un collarín de extensión metálico de 50,8 mm. de altura y una placa base metálica de 9,5 mm. de espesor, con perforaciones de diámetro igual o menor que 1,60 mm.

**4.9.2.4 Disco espaciador metálico,** cilíndrico, de 150,8 mm. de diámetro y 61,4 mm. de altura.

**4.9.2.5 Pistón metálico con una cara circular de 50 ± 0,2 mm.** de diámetro y con una masa de 2500 ± 10 grs. La altura de caída debe ser 305 ± 2 mm. controlada por una guía tubular.



**4.9.2.6 Pistón de penetración metálico de  $50 \pm 0,5$  mm.** de diámetro y no menor que 100 mm. de largo.

**4.9.2.7 Calibre**, compuesto por dos deformímetros comparadores con indicador de dial, de 0,01 mm. de precisión.

**4.9.2.8 Sobrecargas**, una metálica anular y varias metálicas ranuradas con una masa de 2,27 kgs. cada una y 149,2 mm. de diámetro, con una perforación central de 54 mm. de diámetro.

**4.9.2.9 Horno de secado** con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$  C.

#### **4.9.3 Procedimiento**

- Preparación de la muestra. Se prepara una muestra de tamaño igual o superior a 56 kgs. Esta muestra deberá secarse al aire o en un horno, a una temperatura menor que  $60^{\circ}$  C, hasta que se vuelva desmenuzable. Además, se deberán disgregar los terrones evitando reducir el tamaño natural de las partículas.
- La muestra se pasa por el tamiz de 20 mm. (3/4" ASTM) descartando el material retenido. Si es necesario mantener el porcentaje de material grueso del material original se deberá efectuar un reemplazo. Para esto se determina por tamizado el porcentaje del material que pasa por el tamiz de 50 mm. (2" ASTM) y queda retenido en el tamiz de 20 mm.
- Una vez obtenida la muestra de ensaye, se selecciona una porción representativa de unos 35 kg. para realizar el ensayo de compactación Proctor. El resto de la muestra, se divide en tres porciones de unos 7 kg. cada una.
- Compactación de probetas CBR. Normalmente se compactan de tres a cinco probetas en un rango de 90 a 100% de la DMCS determinada según el ensayo Proctor. Cada porción de suelo, se debe mezclar con una cierta cantidad de agua para obtener la

humedad óptima, si es necesario curar el suelo, debe colocarse dentro de un recipiente tapado para lograr una distribución uniforme de la humedad.

- Una vez que se haya pesado el molde (Mm) y verificado su volumen (Vm), se coloca el disco espaciador sobre la placa base, se fija el molde con el collarín sobre la placa y se coloca un disco de papel filtro sobre el disco espaciador. Dentro del molde se compacta mediante 5 capas cada una de las porciones de suelo húmedo, utilizando para cada porción una energía de compactación distinta (Nº de golpes), de manera que la densidad a la cual se desee determinar el CBR quede comprendida entre las densidades de dos probetas. Se compactarán con 56, 25 y 10 golpes respectivamente.
- Al comienzo y al final de la compactación deberán tomarse 2 muestras representativas de suelo para calcular el contenido de humedad. En caso que las muestras no sean sumergidas, la humedad se determina concluida la penetración.
- Finalizada la compactación, se retira el collarín y se enrasa el suelo al nivel del borde del molde, rellenando los huecos dejados por la eliminación del material grueso con material de menor tamaño. Se retiran la placa base perforada, el disco espaciador y se pesa el molde con el suelo compactado (W 1 ).
- **Determinación de las propiedades expansivas del suelo** . Sobre la placa base perforada, se coloca un disco de papel filtro grueso y se ajusta el molde con el suelo compactado en forma invertida, de manera que el espacio formado por el disco espaciador quede en la parte superior.
- En la superficie libre de la muestra, se coloca un disco de papel filtro grueso y sobre éste se coloca la placa metálica perforada provista de un vástago regulable. Sobre ésta placa se colocarán las sobrecargas, cuyo número deberá ser especificado o de lo contrario, se usará una sobrecarga mínima de 4,54 kgs., equivalente al peso de un pavimento de hormigón de 5 pulgadas de espesor.

- A continuación se coloca todo el conjunto cuidadosamente dentro del estanque sin agua, sobre pequeños bloques metálicos o de otro material con el objeto de permitir el libre acceso del agua por debajo de la muestra. Se monta el trípode y se instala el comparador de dial de tal modo que su punta palpable quede tocando el vástago.
- Luego, se llena el estanque con agua y se registra la lectura inicial del comparador de dial (Li). El tiempo de inmersión dependerá del tipo de saturación. Para un ensayo con saturación normal se deja el molde sumergido durante 96 horas, en cambio para un ensayo de saturación completa se dejará el tiempo necesario hasta que no haya más hinchamiento, lo que se comprueba cuando dos lecturas de dial efectuadas con 24 horas de intervalo difieren en menos de 0,03 m m . Durante todo el tiempo de inmersión el nivel de agua se debe mantener constante.
- Registrada la lectura final del comparador de dial (Lf), se retira el trípode y se saca el molde del agua, para dejarlo drenar durante 15 minutos. Finalmente se retiran las sobrecargas, los discos de papel filtro y las placas perforadas para determinar el peso del molde más el suelo compactado y saturado (W 2 ).
- **Determinación de la resistencia a la penetración.** Se lleva la probeta a la máquina de ensayo y se colocan sobre ella, una cantidad tal de cargas para reproducir una sobrecarga igual a la que supuestamente ejercerá el material de base y pavimento del camino proyectado (pero no menor que 4,54 kg.), redondeando a múltiplos de 2,27 kg. En caso de que la probeta haya sido sumergida, la carga será igual a la aplicada durante la inmersión.
- Se apoya el pistón de penetración con una carga lo más pequeña posible (no debe exceder de 45 Newton) y se colocan los diales de lectura de tensión y deformación en cero. Esta carga inicial, se necesita para asegurar un apoyo satisfactorio del pistón, pero debe considerarse como carga cero para la relación carga-penetración. La velocidad de carga aplicada al pistón de penetración será de 1,25 mm/min. Se anotarán las lecturas de carga, en los siguientes

niveles de penetración: 0,65 - 1,25 - 1,90 - 2,50 - 3,10 - 3,75 - 4,40 - 5,00 - 7,50 - 10,00 y 12,5 milímetros (o bien, 0,025 - 0,050 - 0,075 - 0,100 - 0,125 - 0,150 - 0,175 - 0,200 - 0,300 - 0,400 y 0,500 pulgadas).

- Finalmente, se retira el total de la muestra de suelo del molde y se determina el contenido de humedad de la capa superior, con una muestra de 25 mm. de espesor. Si se desea determinar la humedad promedio, se deberá extraer una muestra que abarque el total de la altura del molde.

#### 4.9.4 Cálculos

- Calcular la densidad inicial de la muestra ( $\gamma_i$ ) antes de ser sumergida, mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_i = (W_1 - M_m) / V_m \text{ ( gr./cc )}$$

donde:

$W_1$  = peso del molde más el suelo compactado (gr.)

$M_m$  = peso del molde (gr.)

$V_m$  = capacidad volumétrica del molde (cm<sup>3</sup>)

- Calcular la densidad saturada de la muestra ( $\gamma_s$ ) luego de ser sumergida, mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_s = (W_2 - M_m) / V_m \text{ ( gr./cc )}$$

donde:

$W_2$  = peso del molde y el suelo compactado y saturado (grs.)

- Calcular la expansión de la muestra, como porcentaje de la altura inicial (%E), mediante la siguiente expresión:

$$\% E = E / 116,4 * 100 \text{ ( \% )}$$

donde:

$E$  = expansión en mm . ( diferencia de lecturas del dial de deformación (L<sub>f</sub> - L<sub>i</sub>))

116,4 = altura de la probeta en mm. ( altura del molde menos altura del disco espaciador)

## 4.10 COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)

### 4.10.1 Definición

Referencia ASTM D-1557, Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 4 ó 6 pulgadas (101,6 ó 152,4 mm) de diámetro con un pisón de 10 lbf (44,5 N) que cae de una altura de 18 pulgadas (457 mm), produciendo una Energía de Compactación de 56 000 lb-pie/pie<sup>3</sup> (2 700 kN-m/m<sup>3</sup>).

### 4.10.2 Equipo

**4.10.2.1 Molde de 4 pulgadas,** Un molde que tenga en promedio 4,000 ± 0,016 pulg (101,6 ± 0,4 mm) de diámetro interior, una altura de 4,584 ± 0,018 pulg (116,4 ± 0,5 mm) y un volumen de 0,0333 ± 0,0005 pie<sup>3</sup> (944 ± 14 cm<sup>3</sup>)

**4.10.2.2 Molde de 6 pulgadas,** Un molde que tenga en promedio 6,000 ± 0,026 pulg (152,4 ± 0,7 mm) de diámetro interior, una altura de: 4,584 ± 0,018 pulg (116,4 ± 0,5mm) y un volumen de 0,075 ± 0,0009 pie<sup>3</sup> (2 124 ± 25 cm<sup>3</sup>)

**4.10.2.3 Pisón ó Martillo,** Un pisón operado manualmente ó mecánicamente. El pisón debe caer libremente a una distancia de 18 ± 0,05 pulg (457,2 ± 1,6 mm) de la superficie de espécimen

**4.10.2.4 Balanza,** Una balanza de aproximación de 1 gramo.

**4.10.2.5 Horno de Secado,** Con control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C) a través de la cámara de secado.

**4.10.2.6 Regla,** Una regla metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 10 pulgadas (254 mm). La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una

tolerancia de  $\pm 0,005$  pulg ( $\pm 0,1$  mm). El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que  $1/8$  pulg (3 mm).

**4.10.2.7 Tamices ó Mallas**, De  $3/4$  pulg (19,0 mm),  $3/8$  pulg (9,5 mm) y N° 4 (4,75mm), conforme a los requisitos de la especificaciones ASTM E11 (“Especificación para mallas metálicas con fines de ensayo”).

#### 4.10.3 Procedimiento

**Método de Preparación Húmeda (Preferido).**- Sin secado previo de la muestra, pásela a través del tamiz N° 4 (4,75 mm),  $3/8$  pulg (9,5 mm) ó  $3/4$  pulg (19,0 mm), dependiendo del Método a ser usado (A, B ó C). Determine el contenido de agua del suelo procesado.

- Prepare mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado. Un espécimen que tiene un contenido de humedad cercano al óptimo deberá ser preparado primero, por adiciones de agua y mezcla. Seleccionar los contenidos de agua para el resto de los especímenes de tal forma que resulten por lo menos dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2%. Como mínimo es necesario dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación. Algunos suelos con muy alto óptimo contenido de agua ó una curva de compactación relativamente plana requieren grandes incrementos de contenido de agua para obtener un Peso Unitario Seco Máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán excederán de 4%.

Usar aproximadamente 5 lbm (2,3 kg) del suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando el Métodos A ó B; ó 13 lbm (5,9 kg) cuando se emplee el Método C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen, añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en

el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 140 °F (60 °C). Mezclar el suelo continuamente durante el proceso de secado para mantener la distribución del agua en todas partes y luego colóquelo aparte en un contenedor con tapa y ubíquelo de acuerdo con la Tabla N°1 antes de la compactación

**Método de Preparación Seca.**- Si la muestra está demasiado húmeda, reducir el contenido de agua por secado al aire hasta que el material sea friable. El secado puede ser al aire o por el uso de un aparato de secado tal que la temperatura de la muestra no exceda de 140 °F (60 °C). Disgregar por completo los grumos de tal forma de evitar moler las partículas individuales. Pasar el material por el tamiz apropiado: N°4 (4,75 mm), 3/8 pulg (9,5 mm) ó ¾ pulg (19,0 mm). Durante la preparación del material granular que pasa la malla ¾ pulg para la compactación en el molde de 6 pulgadas, disgregar o separar los agregados lo suficientemente para que pasen el tamiz 3/8 pulg de manera de facilitar la distribución de agua a través del suelo en el mezclado posterior.

- Preparar mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes.
- Usar aproximadamente 5 lbm (2,3 kg) del suelo tamizado para cada espécimen a ser compactado cuando se emplee el Método A, B ó 13 libras (5,9 kg) cuando se emplee el Método C. Añadir las cantidades requeridas de agua para que los contenidos de agua de los especímenes tengan los valores descritos anteriormente. Seguir la preparación del espécimen, para los suelos secos ó adición del agua en el suelo y el curado de cada espécimen de prueba.

**Compactación.**- Después del curado si se requiere, cada espécimen se compactará de la siguiente manera:

- Determinar y anotar la masa del molde ó molde y el plato de base.
- Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El método de enlace ó unión al cimiento rígido debe permitir un desmolde fácil del

molde ensamblado, el collar y el plato base después que se concluya la compactación.

Compactar el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Antes de la compactación, colocar el suelo suelto dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisonar el suelo antes de la compactación hasta que este no esté en estado suelto o esponjoso, usando el pisón manual de compactación o un cilindro de 2 pulg (5 mm) de diámetro. Posteriormente a la compactación de cada uno de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no han sido compactados o extendido cerca de la superficie compactada será recortada. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para la próxima capa. Un cuchillo ú otro aparato disponible puede ser usado. La cantidad total de suelo usado será tal que la quinta capa compactada se extenderá ligeramente dentro del collar, pero no excederá 1/4pulg (6 mm) de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende en más de 1/4pulg (6 mm) de la parte superior del molde, el espécimen será descartado. El espécimen será descartado cuando el último golpe del pisón para la quinta capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación. Compactar cada capa con 25 golpes para el molde de 4 pulgadas (101,6 mm) ó 56 golpes para el molde de 6 pulgadas (152,4 mm).

Al operar el pisón manual del pisón, se debe tener cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantener la guía firmemente y dentro de 5° de la vertical. Aplicar los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto y de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.

- Después de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.



- Cuidadosamente enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Rellenar cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o despejado del espécimen, presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde.
- Determine y registre la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.
- Remueva el material del molde. Obtener un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se refiere este método) o una porción representativa. Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado. De otra manera se puede obtener una porción cortando axialmente por el centro del espécimen compactado y removiendo 500 gr del material de los lados cortados. Obtener el contenido de humedad.
- Después de la compactación del último espécimen, comparar los Pesos Unitarios Húmedos para asegurar que el patrón deseado de obtención de datos en cada lado del óptimo contenido de humedad sea alcanzado en la curva de compactación para cada Peso Unitario Seco y Plotear el Peso Unitario Húmedo y Contenido de Agua de cada espécimen compactado puede ser una ayuda para realizar esta evaluación. Si el patrón deseado no es obtenido, serán necesarios compactar especímenes adicionales. Generalmente, un valor de contenido de agua mayor que el contenido de agua definido por el máximo Peso Unitario Húmedo es suficiente para asegurar los datos del lado más húmedo que el óptimo contenido de agua para el máximo Peso Unitario seco.

#### **4.10.4 Cálculos**

- Se cálculo el Peso Unitario Seco y Contenido de Agua para cada espécimen compactado, Plotee los valores y dibuje la curva de

compactación como una curva suave a través de los puntos (ver ejemplo, Fig.3). Plotee el Peso Unitario Seco con aproximación 0,1 lbf /pie<sup>3</sup> (0,2 kN/m<sup>3</sup>) y contenido de agua aproximado a 0,1%. En base a la curva de compactación, determine el Óptimo Contenido de Agua y el Peso Unitario Seco Máximo. Si más de 5% en peso del material sobredimensionado (tamaño mayor) fue removido de la muestra, calcular el máximo Peso Especifico y óptimo contenido de Humedad corregido del material total usando la Norma ASTM D4718 (“Método de ensayo para la corrección del Peso Unitario y Contenido de Agua en suelos que contienen partículas sobredimensionadas”). Esta corrección debe realizarse en el espécimen de ensayo de densidad de campo, más que al espécimen de ensayo de laboratorio.

- Los valores de contenido de agua para la condición de 100% de saturación puede ser calculadas con el uso de la formula.

Contenido de Agua, w.

- Peso Unitario Seco.- Calcular la densidad húmeda (Ec 1), la densidad seca (Ec 2) y luego el Peso Unitario Seco (Ec 3) como sigue:

$$\rho_m = \frac{(M_t - M_{md})}{1000 * V} \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

m = Densidad Húmeda del espécimen compactado (Mg/m<sup>3</sup>)

Mt = Masa del espécimen húmedo y molde (kg)

Mmd = Masa del molde de compactación (kg)

V = Volumen del molde de compactación (m<sup>3</sup>)

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

d=Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m<sup>3</sup>)

w=contenido de agua (%)

$$\gamma_d = 62,43 \text{ pd en lbf/ft}^3 \dots\dots\dots (3)$$

$$\gamma_d = 9,807 \text{ pd en kN/m}^3$$

Donde:

$\gamma_d$  = peso unitario seco del espécimen compactado.

En el cálculo de los puntos para el ploteo de la curva de 100% de saturación o curva de relación de vacíos cero del peso unitario seco, seleccione los valores correspondientes de contenido de agua a la condición de 100% de saturación como sigue:

$$W_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100 \dots\dots(4)$$

Donde:

$W_{sat}$  = Contenido de agua para una saturación completa (%).

$\gamma_w$  = Peso unitario del agua 62,43 lbf/ pie 3 ó (9,807kN/m 3 ).

$\gamma_d$  = Peso unitario seco del suelo.

$G_s$  = Gravedad específica del suelo

## 4.11 MÉTODO MARSHALL

### 4.11.1 Definición

Referencia ASTM D 1559, El método Marshall es un experimento de laboratorio dirigido al diseño de una adecuada mezcla asfáltica por medio del análisis de su estabilidad/fluencia y densidad/vacíos.

Una de las virtudes del método Marshall es la importancia que asigna a las propiedades densidad/vacíos del material asfáltico.

Este análisis garantiza que las proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla, están dentro de rangos adecuados para asegurar una Mezcla Asfáltica en Caliente durable.

Existen tres procedimientos en el método del ensayo Marshall, estos son:

- a) Determinación del peso específico total,
- b) Medición de la estabilidad y la fluencia Marshall, y
- c) Análisis de la densidad y el contenido de vacíos.

### 4.11.2 Equipos

#### 4.11.2.1 Martillo Marshall

#### 4.11.2.2 Molde

#### 4.11.2.3 Base

#### 4.11.2.4 Cocina

#### 4.11.2.5 Equipo (baño maría)

#### 4.11.2.6 Probeta Marshall

#### 4.11.2.7 Equipo de compactación

### 4.11.3 Procedimiento

El primer paso en el método de diseño, es seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir las cualidades que se están buscando para la carpeta (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etcétera). La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida para poder establecer las temperaturas de mezclado y compactación en el laboratorio.

- Pesamos la arena, grava, filler y cemento asfáltico, previamente se tuvo que determinar los porcentajes de todos los componentes (grava, arena, filler, cemento asfáltico), este se repite para cada porcentaje de cemento asfáltico que en nuestro caso empezó de 5.5%

- Procedemos a mezclar todos los componentes hasta obtener una mezcla homogénea, primero se coloca el agregados fino y grueso en una bandeja está a la vez se coloca en una cocina para simular lo ocurrido en obra luego se echa el filler, estos componentes se mezclan de tal forma que todas estén revestidas. Paralelamente se va preparando el cemento asfáltico, cuando los componentes hayan alcanzado una temperatura de 140°C (la temperatura lo medimos con un termómetro), estos se mezclan conjuntamente hasta que la mezcla este homogénea

- Las mezclas asfálticas calientes se colocan en los moldes precalentados Marshall, como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla. Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50 o 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo. Colocamos papel filtro en la base del molde.

- Luego extraemos las briquetas de los moldes, y dejamos enfriarlas. Al día siguiente (ejemplo), procedemos a determinar el peso específico de los especímenes compactados, para luego determinar su gravedad específica.
- Bañamos con parafina las muestras hasta que no quede vacíos en el espécimen
- Pesamos la muestra al aire de todos los especímenes, y luego pesamos las mismas muestras sumergidas.
- colocamos en baño maría a todas la muestra por un lapso de media hora.
- Ahora procedemos a determinar la estabilidad y el flujo de nuestros especímenes, para lo cual colocamos el espécimen en la probeta Marshall, y seguidamente lo colocamos en el equipo compactador, para luego iniciar el ensayo, anotando el flujo y la estabilidad.

#### 4.11.4 Cálculos

Promedimos las estabilidades corregidas y flujos de las muestras para un mismo contenido de asfalto.

Preparar gráficas de:

- Estabilidad vs. Contenido de asfalto.
- Flujo vs. Contenido de asfalto.
- Peso unitario de la mezcla total vs. Contenido de asfalto.
- Porcentaje de vacíos de aire,  $V_a$  vs. Contenido de asfalto.
- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto,  $VFA$  vs. Contenido de asfalto.
- Porcentaje de vacíos en el agregado mineral,  $VMA$  vs. Contenido de asfalto.

Relación de corrección para la estabilidad Marshall según el volumen de la briketa.

–Idealmente, las briquetas deben tener un volumen de  $515 \text{ cm}^3$ , correspondiente con una altura de  $6.35 \text{ cm}$  ( $2 \frac{1}{2}$ " ) dentro del molde de  $10.16 \text{ cm}$  ( $4$ " ) de diámetro.

–La capacidad para soportar carga diametral (estabilidad) es directamente proporcional al volumen de la briqueta. A menor volumen menor estabilidad y viceversa.

## CAPÍTULO V RESULTADOS

### 5.1 PENETRACIÓN ASTM D-5

PRUEBA	ASFALTO CONVENCIONAL	ASFALTO MODIFICADO	UNIDADES
Penetración 100 gr., 5 seg., 25°C	77	58	dmm
Penetración 200 gr., 60 seg., 4°C	5	28	dmm

### 5.2 RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN. (CEDES NLT – 329 – 91).

PRUEBA	ASFALTO CONVENCIONAL	ASFALTO MODIFICADO	UNIDADES
Recuperación Elástica por Ductilómetro 25°C	10	85	%
Recuperación Elástica por Torsión 25°C	3	40	%

### 5.3 PUNTO DE ABLANDAMIENTO POR ANILLO Y ESFERA. ASTM D 36

PRUEBA	ASFALTO CONVENCIONAL	ASFALTO MODIFICADO	UNIDADES
Punto de Ablandamiento	47	66	°C

## 5.4 RESUMEN DE CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁRIDOS

### AFIRMADO

Muestra	Contenido de Humedad	Absorción		L.L. %	I.P. %	Granulometría			Gs	Clasificación		Compactación		C.B.R.		C.B.R. ESTABILIZADO CON CAUCHO	Descripción
	%	Agregado Grueso %	Agregado Fino %			Cu	Cc	No.200 (% Q'pasa)		AASTHO	SUCS	Proctor Mod. (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptimo %	95%	100%	100%	
M-1	0.89	0.72	2.88	23.91	8.62	41.00	0.49	7.50	2.55	A-1-a (0)	SP - SC	2.04	6.00	51.93	46.73	105.00	Arena pobremente graduada, de baja plasticidad
M-2	0.54			22.85	9.48	40.00	0.58	7.30	2.71	A-1-a (0)	SP - SC	2.20	8.40				Arena pobremente graduada, de baja plasticidad
M-3	0.79			18.74	9.56	43.00	0.43	7.50	2.21	A-1-a (0)	SP - SC	2.03	5.20				Arena pobremente graduada, de baja plasticidad
M-4	0.91			22.10	8.07	48.00	0.37	7.50	2.65	A-1-a (0)	SP - SC	2.03	5.40				Arena pobremente graduada, de baja plasticidad
M-5	0.43			18.28	9.61	40.00	0.44	7.60	2.55	A-1-a (0)	SP - SC	1.99	6.00				Arena pobremente graduada, de baja plasticidad

### HORMIGON

Muestra	Contenido de Humedad	Absorción		L.L. %	I.P. %	Granulometría			Gs	Clasificación		Compactación		C.B.R.		C.B.R. ESTABILIZADO CON CAUCHO	Descripción
	%	Agregado Grueso %	Agregado Fino %			Cu	Cc	No.200 (% Q'pasa)		AASTHO	SUCS	Proctor Mod. (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptimo %	95%	100%	100%	
M-1	0.64	0.45	2.67	-	-	37.35	1.20	2.70	2.68	A-1-a (0)	GW	2.03	7.60	27.50	35.00	63.20	Grava bien graduada
M-2	0.47			-	-	47.65	1.06	2.20	2.42	A-1-a (0)	GW	2.06	8.30				Grava bien graduada
M-3	0.47			-	-	27.00	1.19	2.20	3.36	A-1-a (0)	GW	2.00	7.80				Grava bien graduada
M-4	0.49			-	-	20.57	1.02	1.70	2.33	A-1-a (0)	GW	2.00	9.60				Grava bien graduada
M-5	0.32			-	-	41.43	0.65	2.70	2.62	A-1-a (0)	GP	2.00	10.00				Grava pobremente graduada

## 5.5 CUADRO CALCULO PORCENTAJE DE ASFALTO

### ANALISIS GRANULOMETRICO - AFIRMADO M1

TAMIZ	% Q´ PASA	% Pesos Retenidos							
4"	100.0	0.0							
3"	100.0	0.0							
2 1/2"	100.0	0.0	35.48	%PASA 3/4" Y RETENIDA EN #8			a		
2"	100.0	0.0	46.38	%PASA #8 Y RETENIDA EN #200			b		
1 1/2"	98.8	1.2	7.50	%PASA #200			c		
1"	96.0	2.9	0.18	CUANDO 6-10% PASA TAMIZ #200			X		
3/4"	89.3	6.7	1.00	FACTOR DE CORRECCION POR ABSORCION			F		
1/2"	83.3	6.0							
3/8"	76.0	7.3							
1/4"	69.9	6.0	P=	0.035	a	b	Xc	F	
N° 4	61.7	8.2	P=	5.68 %	35.48	0.045	46.38	1.35	1.00
N° 8	53.8	7.9							
N°10	45.8	8.0							
N°16	41.0	4.8							
N° 30	35.8	5.2							
N° 40	27.8	8.0							
N° 50	22.5	5.3							
N° 100	14.0	8.5							
N° 200	7.5	6.6							
< N° 200	0.0	7.5							

$$P = 0.035 a + 0.045 b + Xc + F$$



## 5.6 CUADRO CÁLCULO DE MEZCLAS ASFALTICAS

### DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO METODO ILLINOIS - MARSHALL MODIFICADO

EMULSION					AGREGADO	
Tipo Emulsion Asphaltica				CSS-1HP	Identificación	: CANT. EL MILAGRO SOLEDAD
Residuo Asphaltico en la Emulsion (%)				61.5	Descripción	: HORMIGON PIEDRA 1/2"
Gravedad especifica del asfalto (B)				1.01	PARA MEZCLA EN FRIO	
Asfalto residual en la mezcla (A)(%)				4,0	G. Es. Aparente (°C)	: 2.718 g/cm3

MEZCLA Y COMPACTACION	
Agua total en la mezcla (%)	4.0
Agua de adiccion a la mezcla (g)	
Agua de compactacion (%)	3

DESCRIPCION		SECO			SATURADO		
		1	2	3	4	5	6
	<b>DENSIDAD BULK</b>						
1	Peso de la probeta en aire (D)	1152.6	1157.9		1156.7	1154.0	
2	Peso de la probeta en agua ( E )	641.9	646.7		649.7	642.1	
3	Peso de la probeta SSD ( F )	1163.0	1169.5		1205.4	1212.4	
4	Volumen por desplazamiento	521.1	522.8		555.7	570.3	
5	Densidad Bulk ( G )	2.212	2.215		2.082	2.023	2.053
6	Densidad Seca Bulk	2.168	2.171	2.169			

<b>ESTABILIDAD (22.2º C)</b>							
1	Estabilidad (kg-f)	1441	1523		1163	1115	
2	Factor de correccion	1	1		0.89	0.86	
3	Flujo (mm)	1441	1523		1035	959	
4	Densidad Seca Bulk	2.5	3.0		3.3	3.3	

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>							
1	Peso de la muestra humeda ( H )	1163	1169.5		1205.4	1212.4	
2	Peso de la muestra seca ( I )	1129.5	1134.9		1130.8	1135.8	
3	Tara ( J )						
4	Contenido de humedad ( K )	2.1	2.1		6.9	7	
5	Humedad absorbida					-4.8	

<b>CARACTERISTICAS</b>							
1	Maximo total de vacios (%)	15.1	14.9				
2	Vacios de aire (%)	10.6	10.5				
3	V.M.A. (%)	23.3	23.2				
4	% perdida de estabilidad	32.7					

### 5.7 CUADRO CÁLCULO COSTOS ASFALTICAS CONVENCIONAL – ASFALTO MODIFICADO CON CAU

VOLUMEN EN 1KM			
Longitud (km)	Ancho (m)	Espesor (pulg.)	Volumen (m3)
1.00	7.20	2.00	365.76
1000.00	7.20	0.05	
REFERENCIAS			
PESO ASFALTO EN 1 M3	2000	KG/M3	
PESO ASFALTO EN 1 KM	731520.00	KG	
DENSIDAD DEL ASFALTO	1.1	GR/CM3	
EQUIVALENCIA DE 1 GALON	3.785	LITROS	

COSTO ADICIONAL EN PORCENTAJE		
COSTO TOTAL	S/.104.26	S/.133.42
	S/.29.16	
133.42	100.00	
29.16	X	
X=	<b>21.86</b>	%

ASFALTO CONVENCIONAL			ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO		
PORCENTAJE ASFALTO	5.68%		PORCENTAJE DE CAUCHO	20.00%	<b>COSTO UND.</b> 1.97 SOLES/KG
CANTIDAD DE ASFALTO EN KG	70.00	KG/M3	PORCENTAJE DE AZUFRE	1.50%	1.5 SOLES/KG
CANTIDAD DE ASFALTO EN LITROS	63.64	LITROS/M3	CANTIDAD DE CAUCHO EN KG	14.00	KG/M3
CANTIDAD DE ASFALTO	16.81	GL/M3	CANTIDAD DE AZUFRE EN KG	1.05	KG/M3
CANTIDAD DE ASFALTO RC-70	21.86	GL/M3	COSTO CAUCHO POR M3	27.58	SOLES/M3
COSTO ASFALTO RC-70	4.77	SOLES/GL	COSTO AZUFRE POR M3	1.58	SOLES/M3
COSTO ASFALTO POR M3	<b>S/.104.26</b>	SOLES/M3	<b>TOTAL</b>	<b>S/.29.16</b>	SOLES/M3

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

- De acuerdo con los ensayos de penetración para el asfalto convencional, éste se clasificó como un asfalto de penetración 70/100, el cual se considera con alto grado de adherencia y de consistencia relativamente blanda. Esto se confirmó con los resultados obtenidos en el ensayo de punto de ablandamiento (47°C).
- Luego de la inspección visual al resultado de los procesos de modificación y teniendo en cuenta las tendencias de los ensayos, se evidenció una mejor incorporación del grano de caucho reciclado (GCR) durante el último procedimiento de mezclado, obteniendo así un asfalto modificado de mayor homogeneidad.
- La reducción de la penetración, y el incremento del punto de ablandamiento del asfalto modificado con caucho reciclado respecto al ligante asfáltico convencional, muestra que la llanta triturada actúa como agente rigidizador del asfalto logrando mayor consistencia en el material.
- La Recuperación Elástica por Ductilómetro a 25°C, se muestra un incremento de 80 % del asfalto modificado con caucho reciclado, mientras que en el asfalto convencional se logró obtener un bajo porcentaje de 10 % a la recuperación elástica.
- En la recuperación elástica por torsión a 25 °C, se muestra un bajo índice de porcentaje de 3 % del asfalto convencional, mientras que el asfalto modificado con caucho reciclado muestra un 40 % a la recuperación elástica.
- Cuando se utilizan el caucho reciclado de llantas en la mezcla asfáltica, el punto de ablandamiento aumenta, garantizando que el asfalto tendrá un buen desempeño trabajando a altas temperaturas.

- El asfalto modificado con caucho reciclado tiene un incremento en costo con un porcentaje de 21.86 % frente al asfalto convencional.
- Los valores del CBR al adicionar asfalto modificado a la muestra de hormigón, dicho incremento va desde el 35% en estado natural hasta el 51.61 y 63.2% estabilizado con caucho granular, para que el material se califique como base debe cumplir con un valor de CBR superior al 80% de acuerdo a las especificaciones. Con los resultados obtenidos se tiene que el material mejora la calidad pero aún le falta para clasificarse como capa base.
- Los valores del CBR al adicionar asfalto modificado a la muestra de afirmado, dicho incremento va desde el 51.93% en estado natural hasta el 89.75 % y 105% estabilizado con caucho granular, por lo tanto con los resultados obtenidos el hormigón llega a mejorar la calidad y a clasificar como capa base.

## **6.2 RECOMENDACIONES.**

- Es recomendable aplicar esta nueva técnica a las capas bases de carreteras debido a que se logra tener una estabilización en las capas bases; además, de disminuir costos en el mantenimiento preventivo.
- Para el uso del asfalto modificado con caucho reciclado se cree conveniente utilizarlo en el menor tiempo posible luego de la modificación, ya que debido a su composición, este material tiende a disgregarse.
- Complementar la caracterización física, química y reológica tanto del asfalto convencional como del asfalto modificado en las diferentes proporciones; a partir de pruebas y ensayos que conlleven a establecer un análisis más exhaustivo de las diferencias entre estos.
- Es recomendable observar la temperatura de compactación de la mezcla modificada, se deben evitar temperaturas menores a 132°C (270°F). De lo contrario la mezcla se vuelve muy viscosa por lo tanto no es trabajable.

## CAPITULO VII. BIBLIOGRAFIA

- Cárdenas Grisales, J. (2002), "Diseño Geométrico de Carreteras", Primera Edición, Colombia, ECOE Ediciones.
- Ficha Técnica (2004), "Asfalto Modificado", Editada por Koch Material México, México.
- García Martínez Alberto (1990), "Modificación de Cementos Asfálticos", Editado por Proyectos, Asesoría y Control de calidad, México.
- Ing. Alfonso Montejó Fonseca (2002), "Ingeniería de Pavimentos para Carreteras", Segunda Edición, Colombia, Editado por Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.
- Reyes Lizcano, Fredy Alberto (2003). "Diseño Racional de Pavimentos", Primera Edición, Colombia, Editorial CEJA.
- Rivera E. Gustavo (1987), "Emulsiones Asfálticas", Tercera Edición, Editado por Representaciones y Servicios de ingeniería, S.A. México.
- Rodríguez Rico y del Castillo Hermilo (1990), "La ingeniería de suelos en las vías terrestres", Tercera Edición, Editorial Limusa.
- Salgado Torres Mauricio (2002), "Tecnología del Asfalto", Primera Edición, México.
- Texto Guía (2004), "Carreteras II", Editado por UMSS, Facultad de Ciencias y Tecnologías, Bolivia.
- Ing. Rafael A. Limón Limón; Determinación de la calidad de los asfaltos modificados en campo; Asociación Mexicana del Asfalto A. C. México 2004.

# ANEXOS

TABLA N° 1 RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - AFIRMADO									
TAMIZ	ABERTURA (mm)	Pesos Retenidos	% Pesos Retenidos	% Retenidos Acumulados	% Q <sup>✓</sup> PASA	ESPECIF. "A" TABLA 301-01		DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
4"	101.600	0	0.0	0.0	100.0			CANTERA : LA SOLEDAD	
3"	76.200	0	0.0	0.0	100.0			UBICACIÓN : Km 520 La Soledad	
2 1/2"	63.500	0	0.0	0.0	100.0			MUESTRA : 1	
2"	50.800	0	0.0	0.0	100.0	100	100	MATERIAL : PARA SUB BASE Y BASE	
1 1/2"	38.100	76	1.2	1.2	98.8	100	100	TAMAÑO MAX : 1 1/2"	
1"	25.400	187	2.9	4.0	96.0	90	100	PESO TOTAL : 6559	
3/4"	19.050	438	6.7	10.7	89.3	65	100	LIMITE LIQUIDO : 23.91 %	
1/2"	12.700	396	6.0	16.7	83.3			LIMITE PLASTICO : 15.29 %	
3/8"	9.525	479	7.3	24.0	76.0	45	80	INDICE DE PLASTICIDAD : 8.62 %	
1/4"	6.350	395	6.0	30.1	69.9				
N° 4	4.760	539	8.2	38.3	61.7	30	65	<b>CLASIFICACION</b>	
N° 8	2.380	518	7.9	46.2	53.8			SUCS : SP	
N°10	2.000	526	8.0	54.2	45.8	22	52	AASHTO : A-1-a (0)	
N°16	1.190	317	4.8	59.0	41.0			HUM. OPTIMA : 10.54 %	
N° 30	0.590	339	5.2	64.2	35.8			DENSIDAD MAX : 1.98 gr/cm3	
N° 40	0.420	523	8.0	72.2	27.8	15	35	CBR. :	
N° 50	0.297	348	5.3	77.5	22.5			<b>OBSERVACIONES</b>	
N° 100	0.149	559	8.5	86.0	14.0			MATERIAL PARA SUB BASE Y BASE	
N° 200	0.074	430	6.6	92.5	7.5	5	20	Se clasifico con Coeficientes de :	
< N° 200		489	7.5	100.0	0.0			Cu=	41.00
		6559	100.0					Cc=	0.49



GRÁFICA N°1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 1

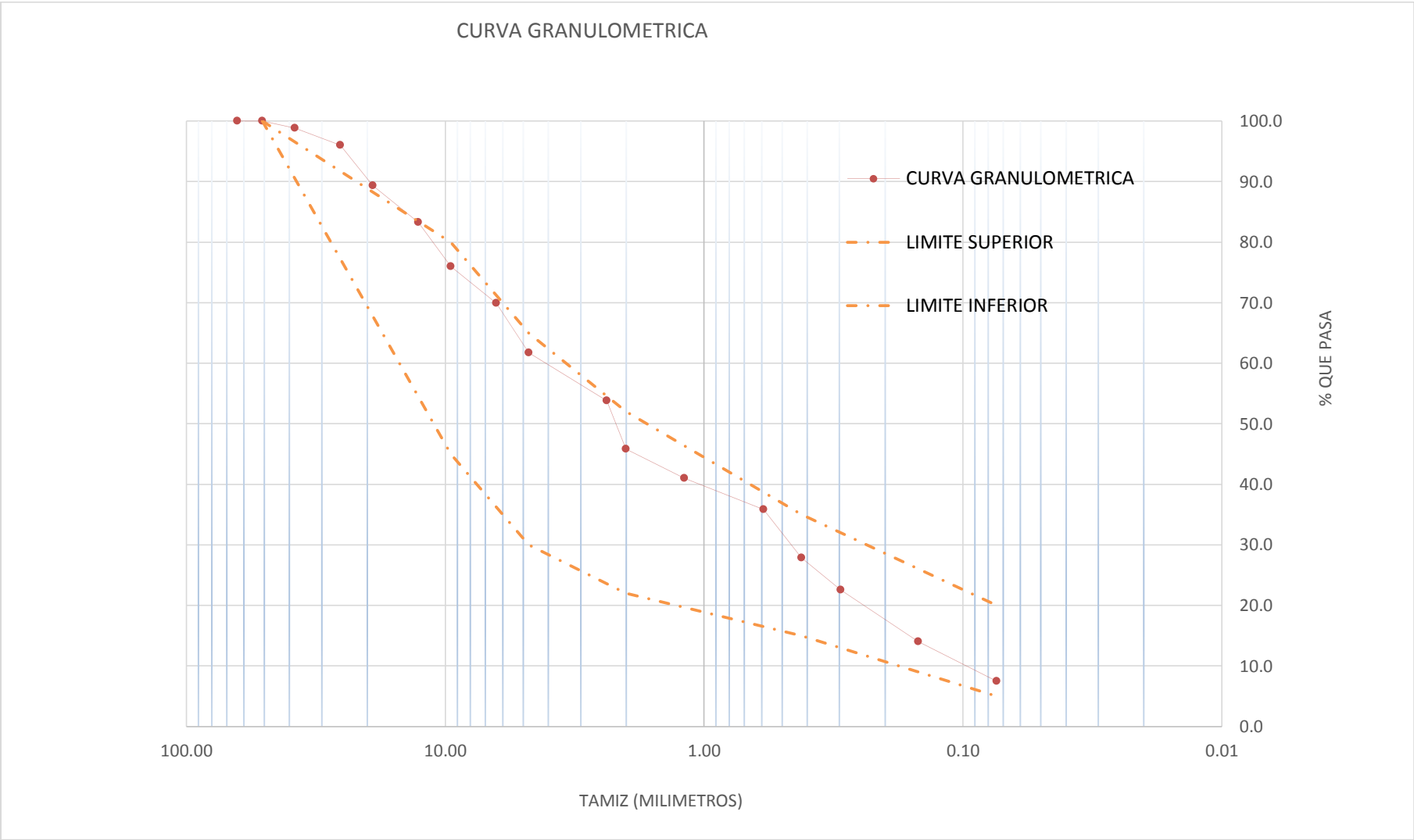


TABLA N° 2 RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - AFIRMADO									
TAMIZ	ABERTURA (mm)	Pesos Retenidos	% Pesos Retenidos	% Retenidos Acumulados	% Q' PASA	ESPECIF. "A" TABLA 301-01		DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
4"	101.600	0	0.0	0.0	100.0			CANTERA : LA SOLEDAD	
3"	76.200	0	0.0	0.0	100.0			UBICACIÓN : Km 520 La Soledad	
2 1/2"	63.500	0	0.0	0.0	100.0			MUESTRA : 2	
2"	50.800	0	0.0	0.0	100.0	100	100	MATERIAL : PARA SUB BASE Y BASE	
1 1/2"	38.100	47	0.7	0.7	99.3	100	100	TAMAÑO MAX : 1 1/2"	
1"	25.400	217	3.3	4.0	96.0	90	100	PESO TOTAL : 6595	
3/4"	19.050	457	6.9	10.9	89.1	65	100	LIMITE LIQUIDO : 22.85 %	
1/2"	12.700	386	5.9	16.8	83.2			LIMITE PLASTICO : 13.37 %	
3/8"	9.525	468	7.1	23.9	76.1	45	80	INDICE DE PLASTICIDAD : 9.48 %	
1/4"	6.350	402	6.1	30.0	70.0				
N° 4	4.760	548	8.3	38.3	61.7	30	65	<b>CLASIFICACION</b>	
N° 8	2.380	510	7.7	46.0	54.0			SUCS : SP	
N°10	2.000	535	8.1	54.1	45.9	22	52	AASHTO : A-1-a (0)	
N°16	1.190	326	4.9	59.1	40.9			HUM. OPTIMA : 10.54 %	
N° 30	0.590	335	5.1	64.2	35.8			DENSIDAD MAX : 1.98 gr/cm3	
N° 40	0.420	539	8.2	72.3	27.7	15	35	CBR. :	
N° 50	0.297	347	5.3	77.6	22.4			<b>OBSERVACIONES</b>	
N° 100	0.149	575	8.7	86.3	13.7			MATERIAL PARA SUB BASE Y BASE	
N° 200	0.074	419	6.4	92.7	7.3	5	20	Se clasifico con Coeficientes de :	
< N° 200		484	7.3	100.0	0.0			Cu= 40.00	
		6595	100.0					Cc= 0.58	

GRÁFICA N°2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 2

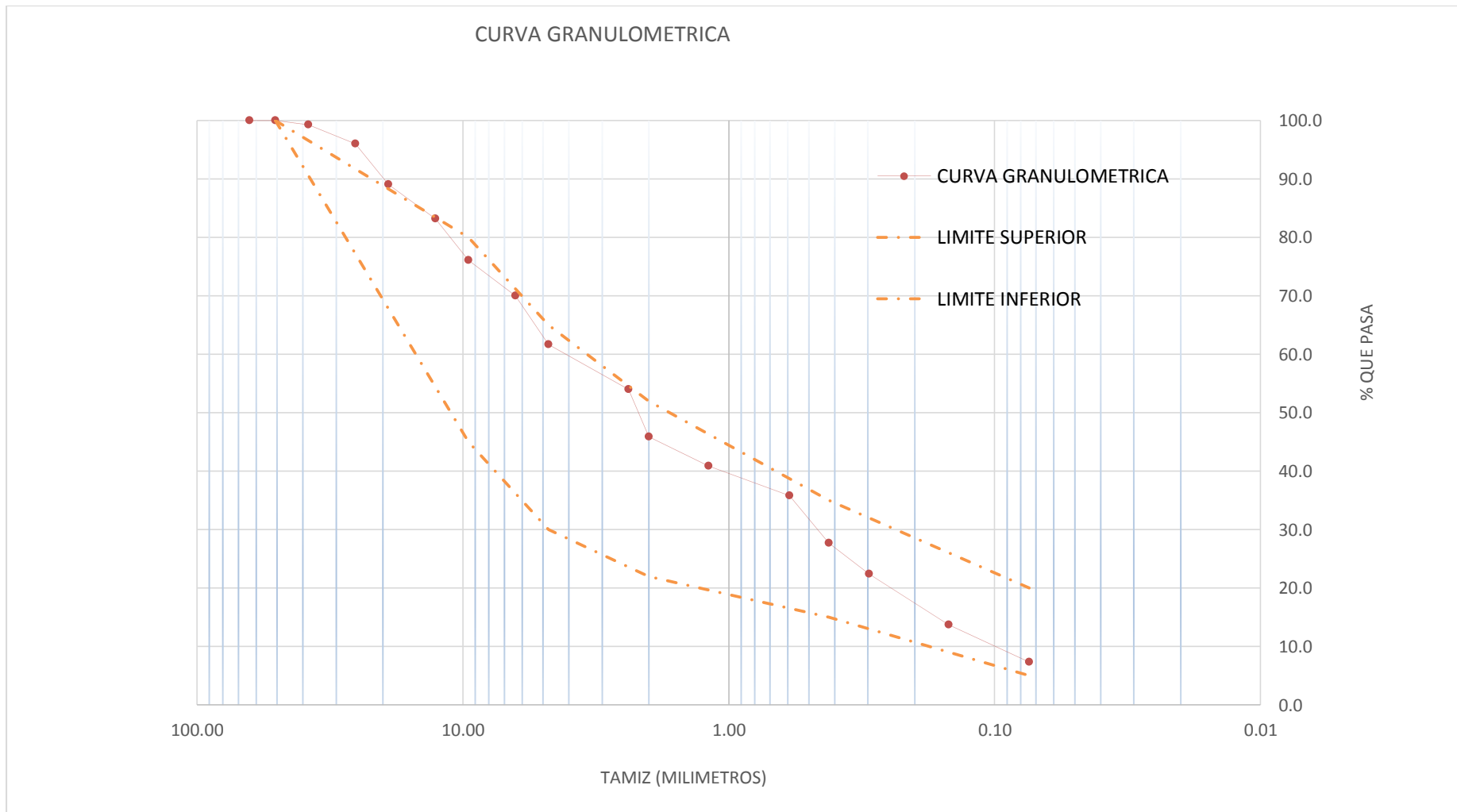


TABLA N° 3 RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 3

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - AFIRMADO									
TAMIZ	ABERTURA (mm)	Pesos Retenidos	% Pesos Retenidos	% Retenidos Acumulados	% Q´ PASA	ESPECIF. "A" TABLA 301-01		DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
4"	101.600	0	0.0	0.0	100.0			CANTERA : LA SOLEDAD	
3"	76.200	0	0.0	0.0	100.0			UBICACIÓN : Km 520 La Soledad	
2 1/2"	63.500	0	0.0	0.0	100.0			MUESTRA : 3	
2"	50.800	0	0.0	0.0	100.0	100	100	MATERIAL : PARA SUB BASE Y BASE	
1 1/2"	38.100	68	1.0	1.0	99.0	100	100	TAMAÑO MAX : 1 1/2"	
1"	25.400	231	3.5	4.5	95.5	90	100	PESO TOTAL : 6645	
3/4"	19.050	447	6.7	11.2	88.8	65	100	LIMITE LIQUIDO : 18.74 %	
1/2"	12.700	396	6.0	17.2	82.8			LIMITE PLASTICO : 9.18 %	
3/8"	9.525	453	6.8	24.0	76.0	45	80	INDICE DE PLASTICIDAD : 9.57 %	
1/4"	6.350	408	6.1	30.1	69.9				
N° 4	4.760	568	8.5	38.7	61.3	30	65	<b>CLASIFICACION</b>	
N° 8	2.380	497	7.5	46.2	53.8			SUCS : SP	
N°10	2.000	546	8.2	54.4	45.6	22	52	AASHTO : A-1-a (0)	
N°16	1.190	335	5.0	59.4	40.6			HUM. OPTIMA : 10.54 %	
N° 30	0.590	325	4.9	64.3	35.7			DENSIDAD MAX : 1.98 gr/cm3	
N° 40	0.420	528	7.9	72.3	27.7	15	35	CBR. :	
N° 50	0.297	356	5.4	77.6	22.4			<b>OBSERVACIONES</b>	
N° 100	0.149	561	8.4	86.1	13.9			MATERIAL PARA SUB BASE Y BASE	
N° 200	0.074	428	6.4	92.5	7.5	5	20	Se clasifico con Coeficientes de :	
< N° 200		498	7.5	100.0	0.0			Cu= 43.00	
		6645	100.0					Cc= 0.43	

GRÁFICA N°3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 3

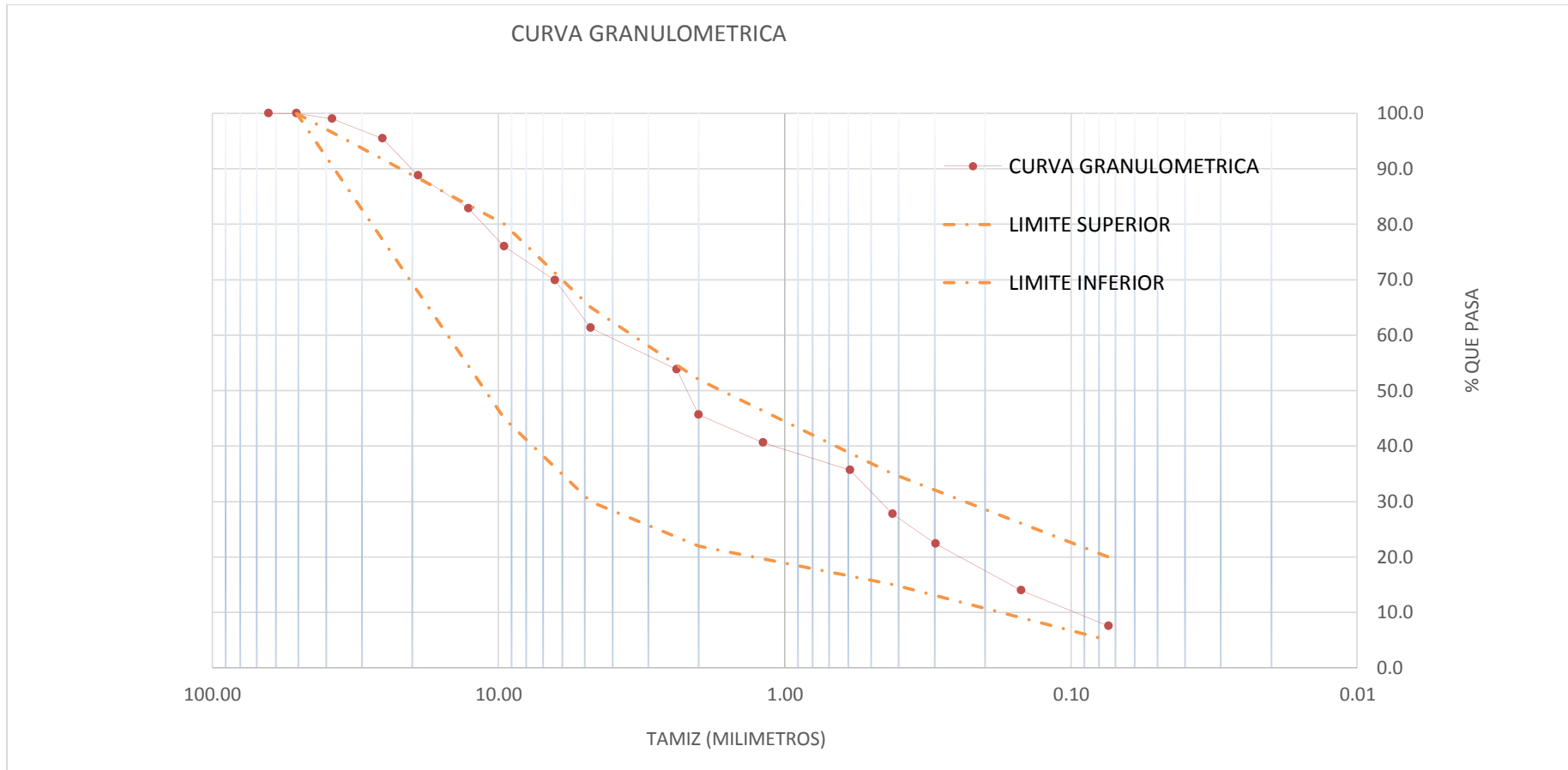


TABLA N° 4 RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 4

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - AFIRMADO**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Pesos Retenidos	% Pesos Retenidos	% Retenidos Acumulados	% Q´ PASA	ESPECIF. "A" TABLA 301-01		DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
4"	101.600	0	0.0	0.0	100.0			CANTERA : LA SOLEDAD	
3"	76.200	0	0.0	0.0	100.0			UBICACIÓN : Km 520 La Soledad	
2 1/2"	63.500	0	0.0	0.0	100.0			MUESTRA : 4	
2"	50.800	0	0.0	0.0	100.0	100	100	MATERIAL : PARA SUB BASE Y BASE	
1 1/2"	38.100	77	1.1	1.1	98.9	100	100	TAMAÑO MAX : 1 1/2"	
1"	25.400	242	3.6	4.7	95.3	90	100	PESO TOTAL : 6718	
3/4"	19.050	437	6.5	11.3	88.7	65	100	LIMITE LIQUIDO : 22.10 %	
1/2"	12.700	408	6.1	17.3	82.7			LIMITE PLASTICO : 14.02 %	
3/8"	9.525	447	6.7	24.0	76.0	45	80	INDICE DE PLASTICIDAD : 8.07 %	
1/4"	6.350	417	6.2	30.2	69.8				
N° 4	4.760	576	8.6	38.8	61.2	30	65	<b>CLASIFICACION</b>	
N° 8	2.380	502	7.5	46.2	53.8			SUCS : SP	
N°10	2.000	436	6.5	52.7	47.3	22	52	AASHTO : A-1-a (0)	
N°16	1.190	347	5.2	57.9	42.1			HUM. OPTIMA : 10.54 %	
N° 30	0.590	318	4.7	62.6	37.4			DENSIDAD MAX : 1.98 gr/cm3	
N° 40	0.420	532	7.9	70.5	29.5	15	35	CBR. :	
N° 50	0.297	376	5.6	76.1	23.9			<b>OBSERVACIONES</b>	
N° 100	0.149	678	10.1	86.2	13.8			MATERIAL PARA SUB BASE Y BASE	
N° 200	0.074	418	6.2	92.5	7.5	5	20	Se clasifico con Coeficientes de :	
< N° 200		507	7.5	100.0	0.0			Cu=	48.00
		6718	100.0					Cc=	0.37

GRÁFICA N°4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 4

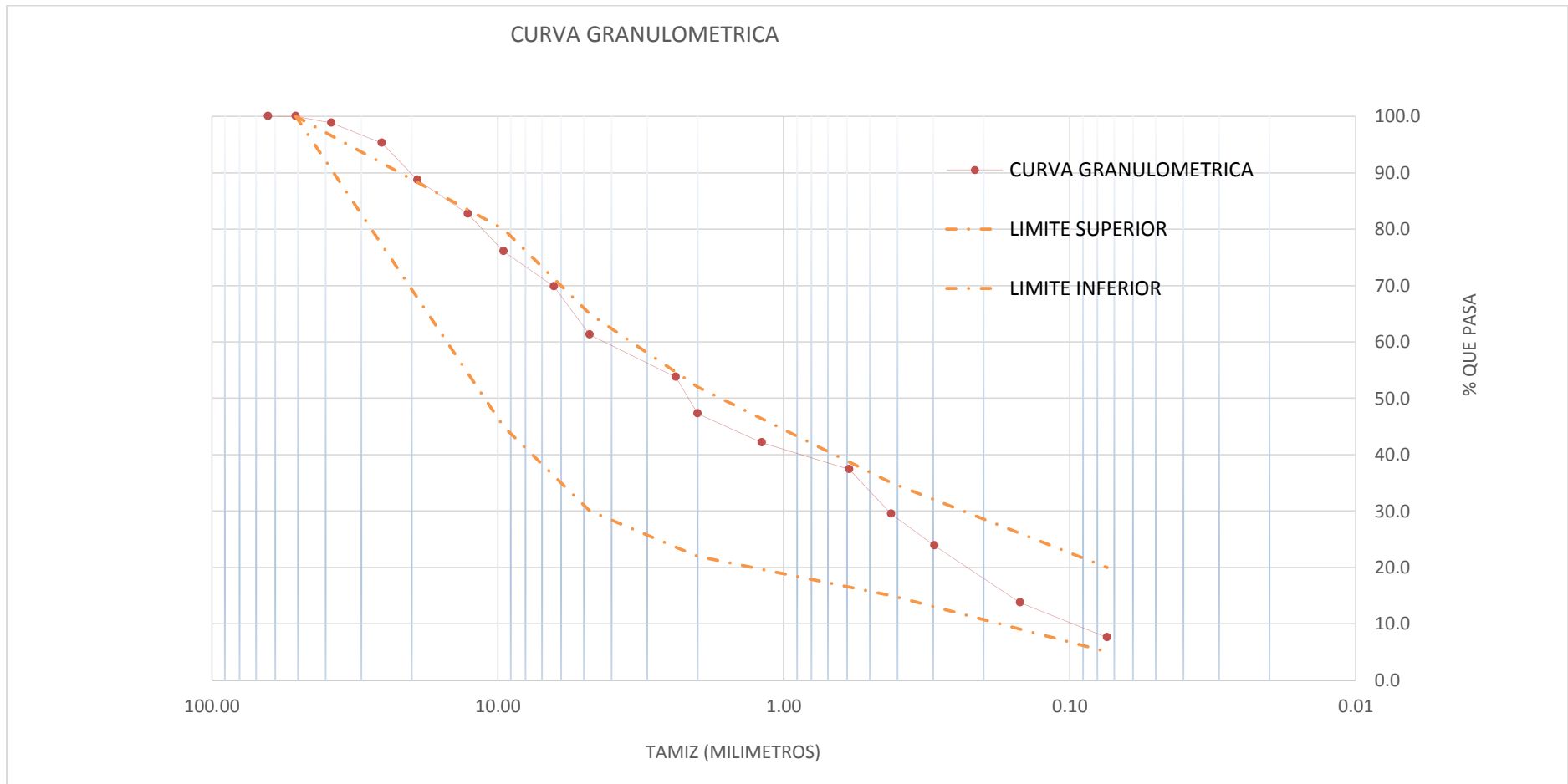


TABLA N° 5 RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 5

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - AFIRMADO

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Pesos Retenidos	% Pesos Retenidos	% Retenidos Acumulados	% Q <sup>´</sup> PASA	ESPECIF. "A" TABLA 301-01		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600	0	0.0	0.0	100.0			CANTERA : LA SOLEDAD
3"	76.200	0	0.0	0.0	100.0			UBICACIÓN : Km 520 La Soledad
2 1/2"	63.500	0	0.0	0.0	100.0			MUESTRA : 5
2"	50.800	0	0.0	0.0	100.0	100	100	MATERIAL : PARA SUB BASE Y BASE
1 1/2"	38.100	38	0.6	0.6	99.4	100	100	TAMAÑO MAX : 1 1/2"
1"	25.400	252	3.8	4.3	95.7	90	100	PESO TOTAL : 6719
3/4"	19.050	421	6.3	10.6	89.4	65	100	LIMITE LIQUIDO : 18.28 %
1/2"	12.700	398	5.9	16.5	83.5			LIMITE PLASTICO : 8.66 %
3/8"	9.525	457	6.8	23.3	76.7	45	80	INDICE DE PLASTICIDAD : 9.61 %
1/4"	6.350	431	6.4	29.7	70.3			
N° 4	4.760	569	8.5	38.2	61.8	30	65	<b>CLASIFICACION</b>
N° 8	2.380	520	7.7	45.9	54.1			SUCS : SP
N°10	2.000	427	6.4	52.3	47.7	22	52	AASHTO : A-1-a (0)
N°16	1.190	358	5.3	57.6	42.4			HUM. OPTIMA : 10.54 %
N° 30	0.590	321	4.8	62.4	37.6			DENSIDAD MAX : 1.98 gr/cm3
N° 40	0.420	541	8.1	70.4	29.6	15	35	CBR. :
N° 50	0.297	384	5.7	76.2	23.8			<b>OBSERVACIONES</b>
N° 100	0.149	662	9.9	86.0	14.0			MATERIAL PARA SUB BASE Y BASE
N° 200	0.074	428	6.4	92.4	7.6	5	20	Se clasifico con Coeficientes de :
< N° 200		512	7.6	100.0	0.0			Cu= 40.00
		6719	100.0					Cc= 0.44

GRÁFICA N°5 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 5





TABLA N° 6 RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 1

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - HORMIGÓN</b>							
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>Pesos Retenidos</b>	<b>% Pesos Retenidos</b>	<b>% Retenidos Acumulados</b>	<b>% Q´ PASA</b>	<b>ESPECIF. "B" TABLA 403-01</b>	<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>

4"	101.600	0	0.0	0.0	100.0			CANTERA : LEKERSA
3"	76.200	0	0.0	0.0	100.0			UBICACIÓN : MZ 64 LOTE .4 Cpme. El milagro
2 1/2"	63.500	0	0.0	0.0	100.0			MUESTRA : 1
2"	50.800	0	0.0	0.0	100.0	100	100	MATERIAL : PARA SUB BASE Y BASE
1 1/2"	38.100	191	5.2	5.2	94.8			TAMAÑO MAX : 1 1/2"
1"	25.400	216	5.8	11.0	89.0	75	95	PESO TOTAL : 3694
3/4"	19.050	308	8.3	19.4	80.6			
1/2"	12.700	319	8.6	28.0	72.0			
3/8"	9.525	386	10.4	38.4	61.6	45	75	
1/4"	6.350	213	5.8	44.2	55.8			
N° 4	4.760	247	6.7	50.9	49.1	30	60	<b>CLASIFICACION</b>
N° 8	2.380	333	9.0	59.9	40.1			SUCS : GW
N°10	2.000	262	7.1	67.0	33.0	20	45	
N°16	1.190	235	6.4	73.4	26.6			HUM. OPTIMA : 7.6 %
N° 30	0.590	201	5.4	78.8	21.2			DENSIDAD MAX : 2.03 gr/cm3
N° 40	0.420	179	4.8	83.6	16.4	15	30	CBR. :
N° 50	0.297	153	4.1	87.8	12.2			<b>OBSERVACIONES</b>
N° 100	0.149	168	4.5	92.3	7.7			MATERIAL PARA SUB BASE Y BASE
N° 200	0.074	184	5.0	97.3	2.7	5	15	Se clasifico con Coeficientes de :
< N° 200		99	2.7	100.0	0.0			Cu= 37.35
		3694	100.0					Cc= 1.20

GRÁFICA N°6 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 1



TABLA N° 7 RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 2

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - HORMIGÓN</b>							
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>Pesos Retenidos</b>	<b>% Pesos Retenidos</b>	<b>% Retenidos Acumulados</b>	<b>% Q´ PASA</b>	<b>ESPECIF. "B" TABLA 403-01</b>	<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>

4"	101.600	0	0.0	0.0	100.0			CANTERA : LEKERSA
3"	76.200	0	0.0	0.0	100.0			UBICACIÓN : MZ 64 LOTE .4 Cpme. El milagro
2 1/2"	63.500	0	0.0	0.0	100.0			MUESTRA : 2
2"	50.800	0	0.0	0.0	100.0	100	100	MATERIAL : PARA SUB BASE Y BASE
1 1/2"	38.100	238	6.2	6.2	93.8			TAMAÑO MAX : 1 1/2"
1"	25.400	247	6.5	12.7	87.3	75	95	PESO TOTAL : 3820
3/4"	19.050	276	7.2	19.9	80.1			
1/2"	12.700	347	9.1	29.0	71.0			
3/8"	9.525	407	10.7	39.7	60.3	45	75	
1/4"	6.350	238	6.2	45.9	54.1			
N° 4	4.760	217	5.7	51.6	48.4	30	60	<b>CLASIFICACION</b>
N° 8	2.380	316	8.3	59.8	40.2			SUCS : GW
N°10	2.000	249	6.5	66.4	33.6	20	45	
N°16	1.190	225	5.9	72.3	27.7			HUM. OPTIMA : 7.6 %
N° 30	0.590	249	6.5	78.8	21.2			DENSIDAD MAX : 2.03 gr/cm3
N° 40	0.420	204	5.3	84.1	15.9	15	30	CBR. :
N° 50	0.297	161	4.2	88.3	11.7			<b>OBSERVACIONES</b>
N° 100	0.149	177	4.6	93.0	7.0			MATERIAL PARA SUB BASE Y BASE
N° 200	0.074	185	4.8	97.8	2.2	5	15	Se clasifico con Coeficientes de :
< N° 200		84	2.2	100.0	0.0			Cu= 47.65
		3820	100.0					Cc= 1.06

GRÁFICA N°7 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 2



**5.6.2.5 TABLA DE RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 3**

TABLA N° 8 RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 3

<b>ANÁLISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - HORMIGÓN</b>							
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>Pesos Retenidos</b>	<b>% Pesos Retenidos</b>	<b>% Retenidos Acumulados</b>	<b>% Q´ PASA</b>	<b>ESPECIF. "B" TABLA 403-01</b>	<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>
4"	101.600	0	0.0	0.0	100.0		CANTERA : LEKERSA

3"	76.200	0	0.0	0.0	100.0			UBICACIÓN : MZ 64 LOTE .4 Cpme. El milagro
2 1/2"	63.500	0	0.0	0.0	100.0			MUESTRA : 3
2"	50.800	0	0.0	0.0	100.0	100	100	MATERIAL : PARA SUB BASE Y BASE
1 1/2"	38.100	203	5.0	5.0	95.0			TAMAÑO MAX : 1 1/2"
1"	25.400	203	5.0	9.9	90.1	75	95	PESO TOTAL : 4094
3/4"	19.050	235	5.7	15.7	84.3			
1/2"	12.700	378	9.2	24.9	75.1			
3/8"	9.525	486	11.9	36.8	63.2	45	75	
1/4"	6.350	337	8.2	45.0	55.0			
N° 4	4.760	325	7.9	52.9	47.1	30	60	<b>CLASIFICACION</b>
N° 8	2.380	278	6.8	59.7	40.3			SUCS : GW
N°10	2.000	346	8.5	68.2	31.8	20	45	
N°16	1.190	214	5.2	73.4	26.6			HUM. OPTIMA : 7.6 %
N° 30	0.590	233	5.7	79.1	20.9			DENSIDAD MAX : 2.03 gr/cm3
N° 40	0.420	342	8.4	87.4	12.6	15	30	CBR. :
N° 50	0.297	172	4.2	91.6	8.4			<b>OBSERVACIONES</b>
N° 100	0.149	136	3.3	95.0	5.0			MATERIAL PARA SUB BASE Y BASE
N° 200	0.074	114	2.8	97.8	2.2	5	15	Se clasifico con Coeficientes de :
< N° 200		92	2.2	100.0	0.0			Cu= 27.00
		4094	100.0					Cc= 1.19

GRÁFICA N°8 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 3



TABLA N° 9 RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 4

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - HORMIGÓN							
TAMIZ	ABERTURA (mm)	Pesos Retenidos	% Pesos Retenidos	% Retenidos Acumulados	% Q' PASA	ESPECIF. "B" TABLA 403-01	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600	0	0.0	0.0	100.0		CANTERA : LEKERSA

3"	76.200	0	0.0	0.0	100.0			UBICACIÓN : MZ 64 LOTE .4 Cpme. El milagro
2 1/2"	63.500	0	0.0	0.0	100.0			MUESTRA : 4
2"	50.800	0	0.0	0.0	100.0	100	100	MATERIAL : PARA SUB BASE Y BASE
1 1/2"	38.100	138	3.0	3.0	97.0			TAMAÑO MAX : 1 1/2"
1"	25.400	209	4.6	7.6	92.4	75	95	PESO TOTAL : 4546
3/4"	19.050	250	5.5	13.1	86.9			
1/2"	12.700	387	8.5	21.6	78.4			
3/8"	9.525	603	13.3	34.9	65.1	45	75	
1/4"	6.350	387	8.5	43.4	56.6			
N° 4	4.760	428	9.4	52.8	47.2	30	60	<b>CLASIFICACION</b>
N° 8	2.380	278	6.1	59.0	41.0			SUCS : GW
N°10	2.000	376	8.3	67.2	32.8	20	45	
N°16	1.190	258	5.7	72.9	27.1			HUM. OPTIMA : 7.6 %
N° 30	0.590	287	6.3	79.2	20.8			DENSIDAD MAX : 2.03 gr/cm3
N° 40	0.420	356	7.8	87.0	13.0	15	30	CBR. :
N° 50	0.297	238	5.2	92.3	7.7			<b>OBSERVACIONES</b>
N° 100	0.149	188	4.1	96.4	3.6			MATERIAL PARA SUB BASE Y BASE
N° 200	0.074	87	1.9	98.3	1.7	5	15	Se clasifico con Coeficientes de :
< N° 200		76	1.7	100.0	0.0			Cu= 20.57
		4546	100.0					Cc= 1.02

GRÁFICA N°9 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 4





TABLA N° 10 RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 5

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - HORMIGÓN</b>							
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>Pesos Retenidos</b>	<b>% Pesos Retenidos</b>	<b>% Retenidos Acumulados</b>	<b>% Q´ PASA</b>	<b>ESPECIF. "B" TABLA 403-01</b>	<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>
4"	101.600	0	0.0	0.0	100.0		CANTERA : LEKERSA

3"	76.200	0	0.0	0.0	100.0			UBICACIÓN : MZ 64 LOTE .4 Cpme. El milagro
2 1/2"	63.500	0	0.0	0.0	100.0			MUESTRA : 5
2"	50.800	0	0.0	0.0	100.0	100	100	MATERIAL : PARA SUB BASE Y BASE
1 1/2"	38.100	195	5.3	5.3	94.7			TAMAÑO MAX : 1 1/2"
1"	25.400	248	6.8	12.1	87.9	75	95	PESO TOTAL : 3670
3/4"	19.050	287	7.8	19.9	80.1			
1/2"	12.700	375	10.2	30.1	69.9			
3/8"	9.525	346	9.4	39.5	60.5	45	75	
1/4"	6.350	324	8.8	48.4	51.6			
N° 4	4.760	248	6.8	55.1	44.9	30	60	<b>CLASIFICACION</b>
N° 8	2.380	249	6.8	61.9	38.1			SUCS : GP
N°10	2.000	178	4.9	66.8	33.2	20	45	
N°16	1.190	153	4.2	70.9	29.1			HUM. OPTIMA : 7.6 %
N° 30	0.590	215	5.9	76.8	23.2			DENSIDAD MAX : 2.03 gr/cm3
N° 40	0.420	239	6.5	83.3	16.7	15	30	CBR. :
N° 50	0.297	188	5.1	88.4	11.6			<b>OBSERVACIONES</b>
N° 100	0.149	179	4.9	93.3	6.7			MATERIAL PARA SUB BASE Y BASE
N° 200	0.074	148	4.0	97.3	2.7	5	15	Se clasifico con Coeficientes de :
< N° 200		98	2.7	100.0	0.0			Cu= 41.435
		3670	100.0					Cc= 0.646

# GRÁFICA N°10 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422) - MUESTRA N° 5

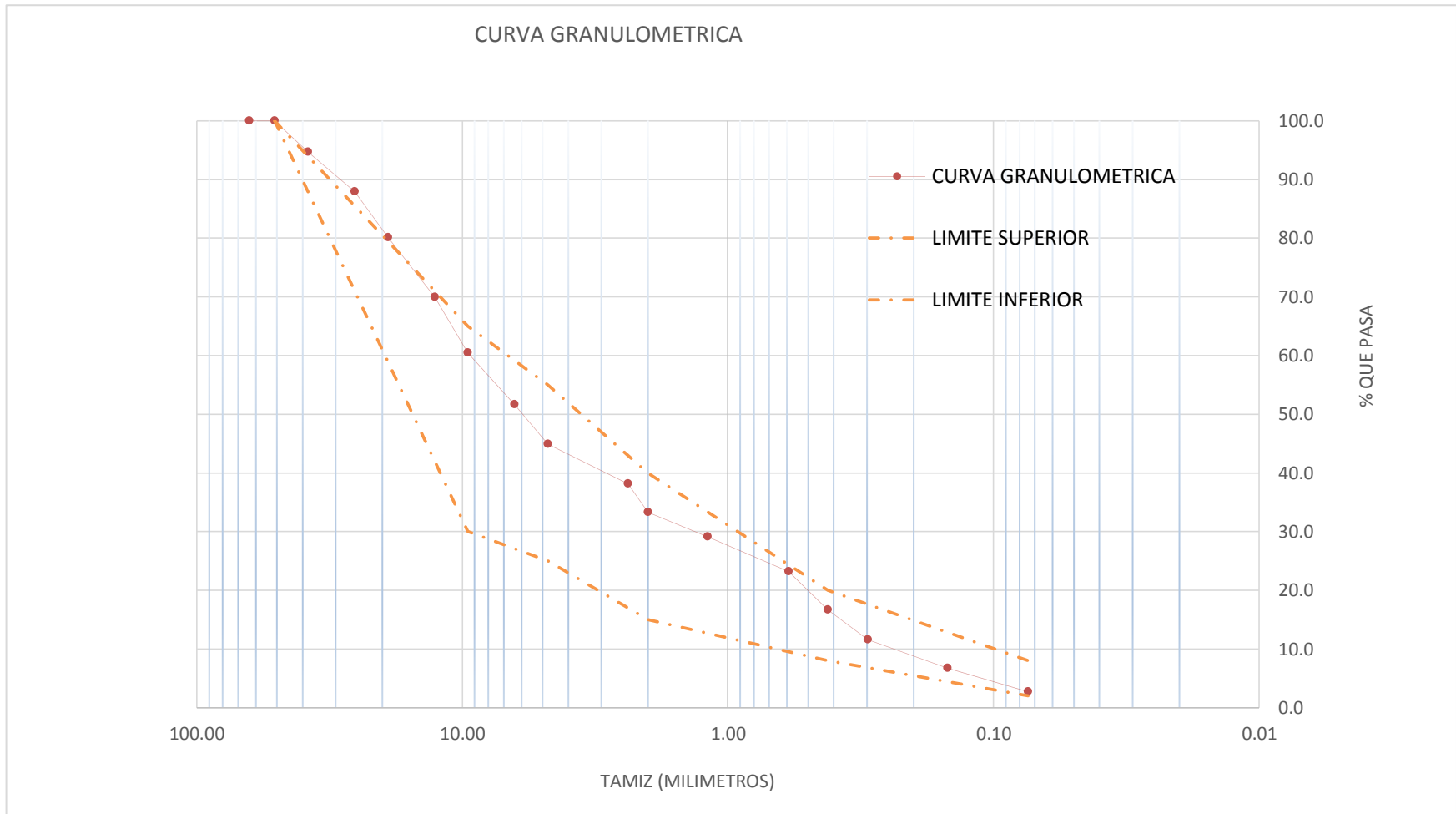


TABLA N° 11 DETERMINACIÓN GRAVEDAD ESPECÍFICO AFIRMADO. (ASTM D 804)

	DESCRIPCIÓN	PESO MUESTRA 1	PESO MUESTRA 2	PESO MUESTRA 3	PESO MUESTRA 4	PESO MUESTRA 5
ws	Peso de la muestra seca	120.3 g.	125.0 g.	130.4 g.	120.7 g.	125.3 g.
w2	Peso de la fiola con agua destilada	629.2 g.	627.8 g.	630.6 g.	628.3 g.	628.9 g.
w3	Peso de la fiola con agua destilada y muestra	702.4 g.	706.7 g.	701.9 g.	703.5 g.	705.1 g.
k	Factor de corrección por temperatura del agua de ensayo	1	1	1	1	1
Gs	Gravedad Específico.	2.55	2.71	2.21	2.65	2.55

$$Gs1 = \frac{Ws}{(Ws+W2-W3)} \cdot K$$

$$Gs1 = 2.55$$

$$Gs2 = 2.71$$

$$Gs3 = 2.21$$

$$Gs4 = 2.65$$

$$Gs5 = 2.55$$

TABLA N° 12 DETERMINACIÓN GRAVEDAD ESPECÍFICO AFIRMADO. (ASTM D 804)

	DESCRIPCIÓN	PESO MUESTRA 1	PESO MUESTRA 2	PESO MUESTRA 3	PESO MUESTRA 4	PESO MUESTRA 5
w <sub>s</sub>	Peso de la muestra seca	120.0 g.	120.0 g.	130.2 g.	125.6 g.	125.3 g.
w <sub>2</sub>	Peso de la fiola con agua destilada	677.2 g.	675.9 g.	668.3 g.	672.1 g.	678.4 g.
w <sub>3</sub>	Peso de la fiola con agua destilada y muestra	752.4 g.	746.3 g.	759.8 g.	743.7 g.	755.8 g.
k	Factor de corrección por temperatura del agua de ensayo	1	1	1	1	1
G <sub>s</sub>	Gravedad Específico.	2.68	2.42	3.36	2.33	2.62

$$G_{s1} = \frac{W_s}{(W_s + W_2 - W_3)} \cdot K$$

$$G_{s1} = 2.68$$

$$G_{s2} = 2.42$$

$$G_{s3} = 3.36$$

$$G_{s4} = 2.33$$

$$G_{s5} = 2.62$$

TABLA N° 13 DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD. (ASTM D-2216 – 98)

<b>Muestra:</b>	<b>AFIRMADO</b>				
<b>Recipiente:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Peso Recipiente :	37.60	31.50	35.10	37.60	31.40
Peso Recipiente + Muestra Humeda:	547.10	557.20	559.30	545.80	568.00
Peso Recipiente + Muestra Seca:	542.60	554.40	555.20	541.20	565.70
Peso Agua:	4.50	2.80	4.10	4.60	2.30
Peso Seco:	505.00	522.90	520.10	503.60	534.30
<b>W%:</b>	<b>0.89</b>	<b>0.54</b>	<b>0.79</b>	<b>0.91</b>	<b>0.43</b>
<b>W<sub>promedio</sub>%:</b>	<b>0.71</b>				

TABLA N° 14 DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD. (ASTM D-2216 – 98)

Muestra:	HORMIGON				
Recipiente:	1	2	3	4	5
Peso Recipiente :	31.50	37.60	35.10	31.40	37.60
Peso Recipiente + Muestra Humeda:	552.10	567.20	564.30	563.80	571.40
Peso Recipiente + Muestra Seca:	548.80	564.70	561.80	561.20	569.70
Peso Agua:	3.30	2.50	2.50	2.60	1.70
Peso Seco:	517.30	527.10	526.70	529.80	532.10
<b>W%:</b>	<b>0.64</b>	<b>0.47</b>	<b>0.47</b>	<b>0.49</b>	<b>0.32</b>
<b>Wpromedio%:</b>	<b>0.48</b>				

$$W1 = \frac{M1 - M2}{M2 - Mc} * 100 = 0.63\%$$

$$W5 = \frac{M1 - M2}{M2 - Mc} * 100 = 0.32\%$$

M2 - Mc

$$W2 = \frac{M1 - M2}{M2 - Mc} * 100 = 0.47\%$$

$$W3 = \frac{M1 - M2}{M2 - Mc} * 100 = 0.47\%$$

$$W4 = \frac{M1 - M2}{M2 - Mc} * 100 = 0.50\%$$

TABLA N° 15 LÍMITES DE CONSISTENCIA (STM D-423/424) AFIRMADO

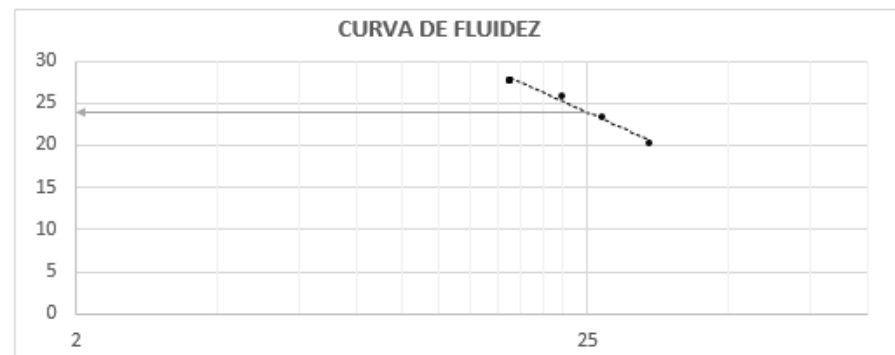
**MUESTRA N°1**

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	T1	T2	T3	T4
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	47.900	48.100	49.200	32.900
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	46.400	46.000	46.500	30.100
PESO DE LATA (gr.):	39.000	37.000	36.000	20.000
PESO DE SUELO SECO (gr.):	7.400	9.000	10.500	10.100
PESO DE AGUA (gr.):	1.500	2.100	2.700	2.800
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	20.270	23.333	25.714	27.723
N° DE GOLPES:	34	27	22	17

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	A-1	A-3		
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	31.700	47.800		
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	30.900	46.750		
PESO DE LATA (gr.):	25.400	40.200		
PESO DE SUELO SECO (gr.):	5.500	6.550		
PESO DE AGUA (gr.):	0.800	1.050		
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	14.545	16.031		
LÍMITE PLÁSTICO (%):	15.288			



LÍMITE LÍQUIDO (%): 23.912  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 15.288  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 8.624  
 ÍNDICE DE FLUENCIA: -24.837

TABLA N° 16 LÍMITES DE CONSISTENCIA (STM D-423/424) AFIRMADO



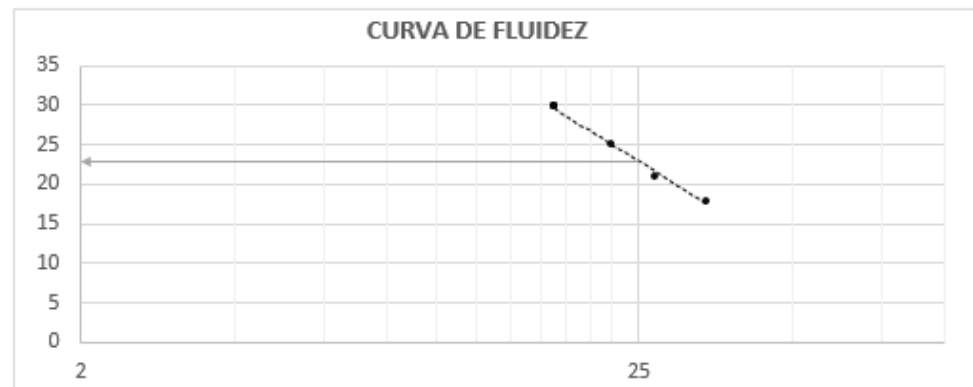
**MUESTRA N°2**

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	T1	T2	T3	T4
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	48.900	49.100	49.500	33.500
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	47.400	47.000	46.800	30.400
PESO DE LATA (gr.):	39.000	37.000	36.000	20.000
PESO DE SUELO SECO (gr.):	8.400	10.000	10.800	10.400
PESO DE AGUA (gr.):	1.500	2.100	2.700	3.100
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	17.857	21.000	25.000	29.808
N° DE GOLPES:	34	27	22	17

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	A-1	A-3		
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	32.300	47.600		
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	31.500	46.750		
PESO DE LATA (gr.):	25.600	40.300		
PESO DE SUELO SECO (gr.):	5.900	6.450		
PESO DE AGUA (gr.):	0.800	0.850		
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	13.559	13.178		
LÍMITE PLÁSTICO (%):				



LÍMITE LÍQUIDO (%): 22.853  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 13.369  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 9.484  
 ÍNDICE DE FLUENCIA: -40.194

TABLA N° 17 LÍMITES DE CONSISTENCIA (STM D-423/424) AFIRMADO

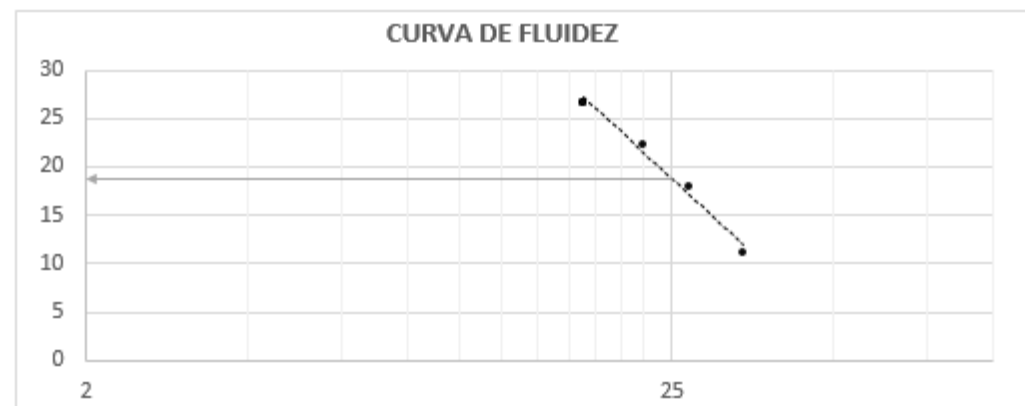
### MUESTRA N°3

#### LÍMITE LÍQUIDO

N° DE LATA	T1	T2	T3	T4
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	48.330	48.800	49.200	35.500
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	47.400	47.000	46.800	32.250
PESO DE LATA (gr.):	39.000	37.000	36.000	20.000
PESO DE SUELO SECO (gr.):	8.400	10.000	10.800	12.250
PESO DE AGUA (gr.):	0.930	1.800	2.400	3.250
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	11.071	18.000	22.222	26.531
N° DE GOLPES:	34	27	22	17

#### LÍMITE PLÁSTICO

N° DE LATA	A-1	A-3		
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	32.130	43.460		
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	31.600	42.740		
PESO DE LATA (gr.):	25.400	35.400		
PESO DE SUELO SECO (gr.):	6.200	7.340		
PESO DE AGUA (gr.):	0.530	0.720		
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	8.548	9.809		
LÍMITE PLÁSTICO (%):				



LÍMITE LÍQUIDO (%): 18.744

LÍMITE PLÁSTICO (%): 9.179

ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 9.565

ÍNDICE DE FLUENCIA: -50.849

TABLA N° 18 LÍMITES DE CONSISTENCIA (STM D-423/424) AFIRMADO

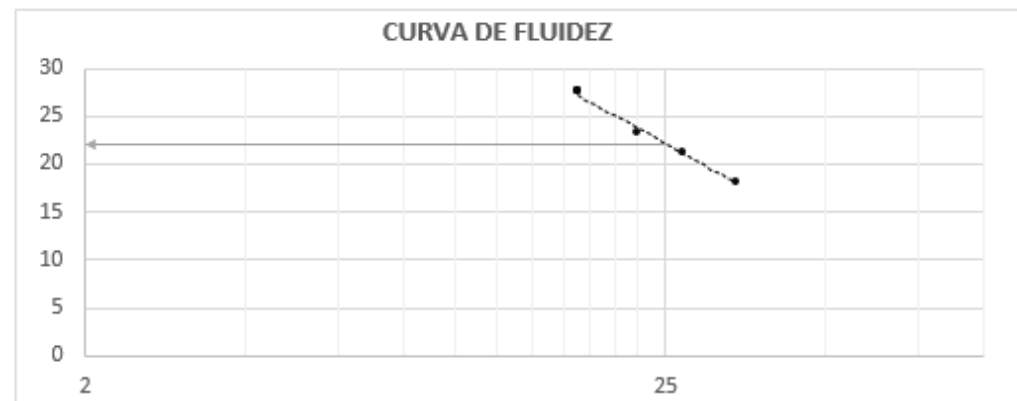
**MUESTRA N°4**

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	T1	T2	T3	T4
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	47.840	48.600	49.610	36.710
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	46.400	46.370	47.310	33.100
PESO DE LATA (gr.):	38.450	35.870	37.400	20.000
PESO DE SUELO SECO (gr.):	7.950	10.500	9.910	13.100
PESO DE AGUA (gr.):	1.440	2.230	2.300	3.610
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	18.113	21.238	23.209	27.557
N° DE GOLPES:	34	27	22	17

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	A-1	A-3		
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	33.400	46.600		
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	32.700	45.630		
PESO DE LATA (gr.):	25.600	40.300		
PESO DE SUELO SECO (gr.):	7.100	5.330		
PESO DE AGUA (gr.):	0.700	0.970		
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	9.859	18.199		
LÍMITE PLÁSTICO (%):				



LÍMITE LÍQUIDO (%): 22.099  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 14.029  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 8.070  
 ÍNDICE DE FLUENCIA: -30.684

**TABLA N° 19 LÍMITES DE CONSISTENCIA (STM D-423/424) AFIRMADO**

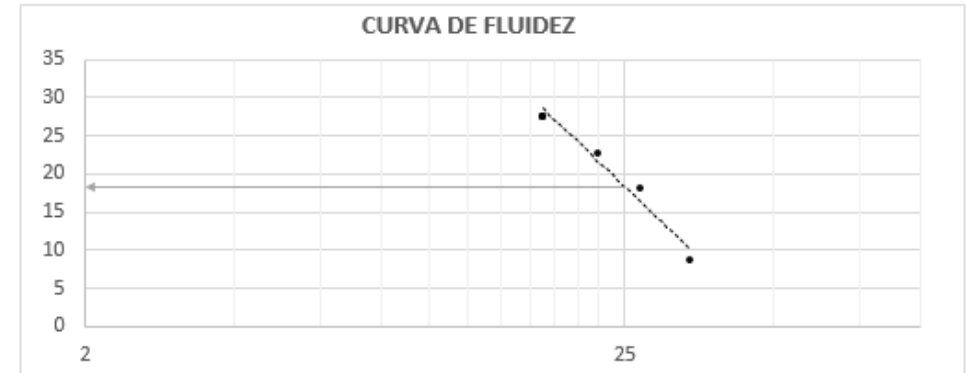
**MUESTRA N°5**

**LÍMITE LÍQUIDO**

N° DE LATA	T1	T2	T3	T4
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	47.320	48.520	48.390	32.900
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	46.660	46.770	46.110	30.120
PESO DE LATA (gr.):	39.000	37.000	36.000	20.000
PESO DE SUELO SECO (gr.):	7.660	9.770	10.110	10.120
PESO DE AGUA (gr.):	0.660	1.750	2.280	2.780
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	8.616	17.912	22.552	27.470
N° DE GOLPES:	34	27	22	17

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° DE LATA	A-1	A-3		
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	33.010	48.400		
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	32.400	47.750		
PESO DE LATA (gr.):	25.400	40.200		
PESO DE SUELO SECO (gr.):	7.000	7.550		
PESO DE AGUA (gr.):	0.610	0.650		
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	8.714	8.609		
LÍMITE PLÁSTICO (%):				



LÍMITE LÍQUIDO (%): 18.276  
 LÍMITE PLÁSTICO (%): 8.662  
 ÍNDICE DE PLASTICIDAD: 9.614  
 ÍNDICE DE FLUENCIA: -61.485

TABLA N° 20 DENSIDAD MAX Y HUMEDAD OPTIMA – AFIRMADO (PROCTOR MODIFICADO)

**MUESTRA N°1**



VOLUMEN DEL MOLDE :		2124.00 $cm^3$			
PRUEBA N°		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	7095.0	7389.0	7260.2	7142.1
Peso molde	gr	2804.4	2804.4	2804.4	2804.4
Peso suelo humedo compactado	gr	4290.6	4584.6	4455.8	4337.7
Peso suelo humedo + tara	gr	610.0	701.3	621.5	603.8
Peso del suelo seco + tara	gr	590.0	662.1	576.2	556.3
Tara	gr	0	0	0	0
Peso del agua	gr	20	39.2	45.3	47.5
Peso del suelo seco	gr	590	662.1	576.2	556.3
Contenido de agua	%	3.39	5.92	7.86	8.54
Peso volumetrico humedo	gr/cm3	2.02	2.16	2.10	2.04
Peso volumetrico seco	gr/cm3	1.95	2.04	1.94	1.88
<b>DENSIDAD MAXIMA - MDS (gr/cm3)</b>					2.04
<b>HUMEDAD OPTIMA - OCH (%)</b>					6

METODO	C
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	56
DSM (gr./cm <sup>3</sup> )	2.04
OCH (%)	6.00

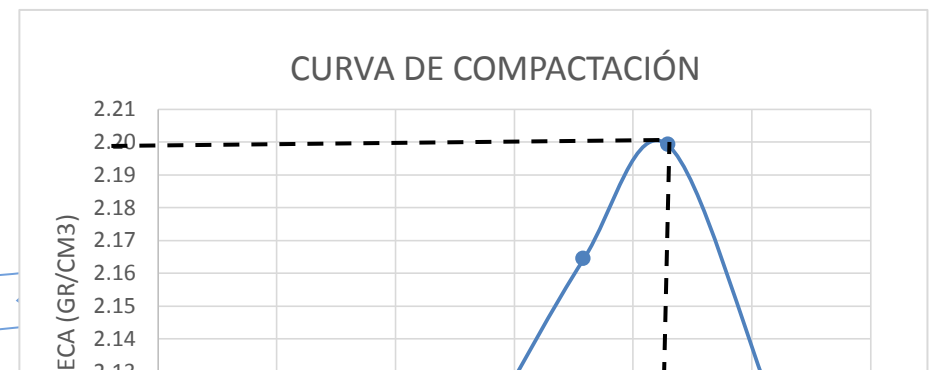
DATOS DEL MOLDE	
PESO(gr):	2804.4
VOLUMEN(cm3):	2124.0

TABLA N° 21 DENSIDAD MAX Y HUMEDAD OPTIMA – AFIRMADO (PROCTOR MODIFICADO)

MUESTRA N°2

VOLUMEN DEL MOLDE :	2124.00 $cm^3$
---------------------	----------------

187



PRUEBA N°		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	7540.5	7730.5	7876.4	7765.2
Peso molde	gr	2804.4	2804.4	2804.4	2804.4
Peso suelo humedo compactado	gr	4736.1	4926.1	5072	4960.8
Peso suelo humedo + tara	gr	630.0	715.0	582.8	599.5
Peso del suelo seco + tara	gr	597.0	667.2	536.7	542.7
Tara	gr	0	0	0	0
Peso del agua	gr	33	47.8	46.1	56.8
Peso del suelo seco	gr	597	667.2	536.7	542.7
Contenido de agua	%	5.53	7.16	8.59	10.47
Peso volumetrico humedo	gr/cm3	2.23	2.32	2.39	2.34
Peso volumetrico seco	gr/cm3	2.11	2.16	2.20	2.11
DENSIDAD MAXIMA - MDS (gr/cm3)					2.2
HUMEDAD OPTIMA - OCH (%)					8.4

METODO	C
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	56
DSM (gr./cm³)	2.20
OCH (%)	8.40

DATOS DEL MOLDE	
PESO(gr):	2804.4
VOLUMEN(cm3):	2124.0

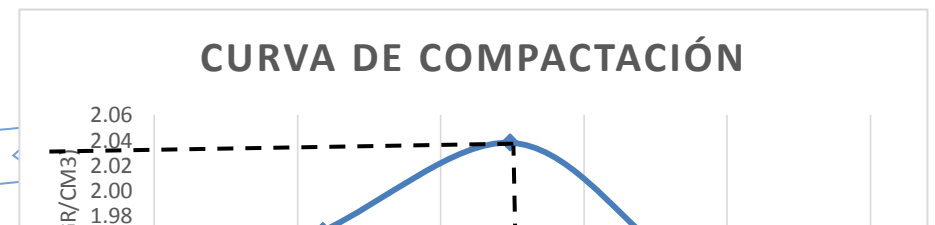
TABLA N° 22 DENSIDAD MAX Y HUMEDAD OPTIMA – AFIRMADO (PROCTOR MODIFICADO)

**MUESTRA N°3**

VOLUMEN DEL MOLDE : 2124.00

cm<sup>3</sup>

188



PRUEBA N°		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	7082.0	7348.0	7251.3	7122.7
Peso molde	gr	2804.4	2804.4	2804.4	2804.4
Peso suelo humedo compactado	gr	4277.6	4543.6	4446.9	4318.3
Peso suelo humedo + tara	gr	610.0	701.3	623.7	603.8
Peso del suelo seco + tara	gr	596.0	668.1	582.9	556.3
Tara	gr	0	0	0	0
Peso del agua	gr	14	33.2	40.8	47.5
Peso del suelo seco	gr	596	668.1	582.9	556.3
Contenido de agua	%	2.35	4.97	7.00	8.54
Peso volumetrico humedo	gr/cm3	2.01	2.14	2.09	2.03
Peso volumetrico seco	gr/cm3	1.97	2.04	1.96	1.87
DENSIDAD MAXIMA - MDS (gr/cm3)					2.03
HUMEDAD OPTIMA - OCH (%)					5.2

METODO	C
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	56
DSM (gr./cm³)	2.03
OCH (%)	5.20

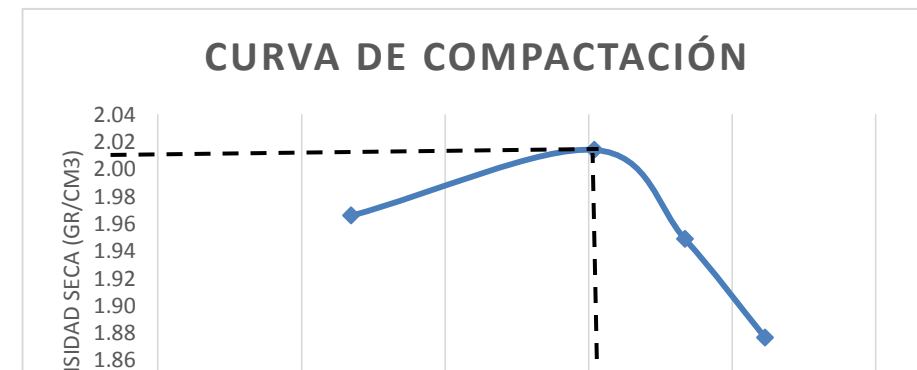
DATOS DEL MOLDE	
PESO(gr):	2804.4
VOLUMEN(cm3):	2124.0

TABLA N° 23 DENSIDAD MAX Y HUMEDAD OPTIMA – AFIRMADO (PROCTOR MODIFICADO)

MUESTRA N°4

VOLUMEN DEL MOLDE :	2124.00	cm <sup>3</sup>
---------------------	---------	-----------------

189



PRUEBA N°		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	7092.0	7342.0	7246.7	7126.4
Peso molde	gr	2804.4	2804.4	2804.4	2804.4
Peso suelo humedo compactado	gr	4287.6	4537.6	4442.3	4322
Peso suelo humedo + tara	gr	610.0	701.3	625.7	603.8
Peso del suelo seco + tara	gr	594.0	661.1	582.9	556.7
Tara	gr	0	0	0	0
Peso del agua	gr	16	40.2	42.8	47.1
Peso del suelo seco	gr	594	661.1	582.9	556.7
Contenido de agua	%	2.69	6.08	7.34	8.46
Peso volumetrico humedo	gr/cm3	2.02	2.14	2.09	2.03
Peso volumetrico seco	gr/cm3	1.97	2.01	1.95	1.88
DENSIDAD MAXIMA - MDS (gr/cm3)					2.03
HUMEDAD OPTIMA - OCH (%)					6.1

METODO	C
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	56
DSM (gr./cm³)	2.03
OCH (%)	6.10

DATOS DEL MOLDE	
PESO(gr):	2804.4
VOLUMEN(cm3):	2124.0

TABLA N° 24 DENSIDAD MAX Y HUMEDAD OPTIMA – AFIRMADO (PROCTOR MODIFICADO)

MUESTRA N°5

VOLUMEN DEL MOLDE :	2124.00	cm <sup>3</sup>
---------------------	---------	-----------------

190





PRUEBA N°		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	7095.4	7277.6	7268.7	7166.4
Peso molde	gr	2804.4	2804.4	2804.4	2804.4
Peso suelo humedo compactado	gr	4291	4473.2	4464.3	4362
Peso suelo humedo + tara	gr	610.0	701.3	625.7	603.8
Peso del suelo seco + tara	gr	588.0	662.1	581.7	554.7
Tara	gr	0	0	0	0
Peso del agua	gr	22	39.2	44	49.1
Peso del suelo seco	gr	588	662.1	581.7	554.7
Contenido de agua	%	3.74	5.92	7.56	8.85
Peso volumetrico humedo	gr/cm3	2.02	2.11	2.10	2.05
Peso volumetrico seco	gr/cm3	1.95	1.99	1.95	1.89
DENSIDAD MAXIMA - MDS (gr/cm3)					1.99
HUMEDAD OPTIMA - OCH (%)					6

METODO	C
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	56
DSM (gr./cm³)	1.99
OCH (%)	6.00

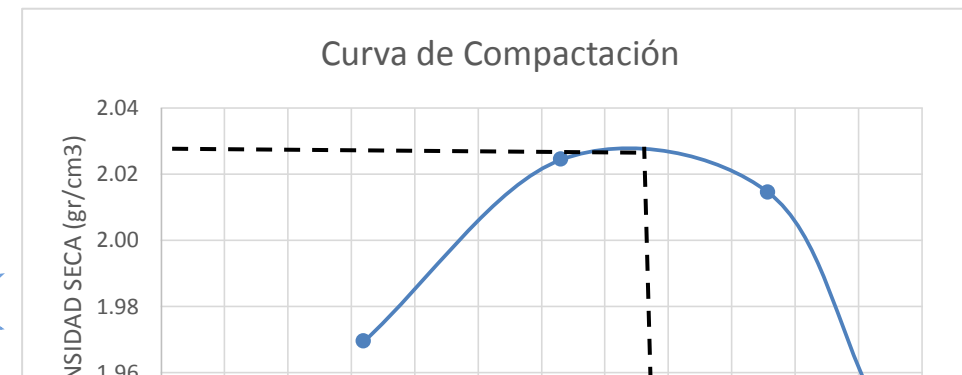
DATOS DEL MOLDE	
PESO(gr):	2804.4
VOLUMEN(cm3):	2124.0

TABLA N° 25 DENSIDAD MAX Y HUMEDAD OPTIMA – HORMIGON (PROCTOR MODIFICADO)

MUESTRA N°1

VOLUMEN DEL MOLDE :	2124.00	$cm^3$			
PRUEBA N°	1	2	3	4	

191



Peso suelo + molde	gr	7121.1	7375.9	7492.9	7417.4
Peso molde	gr	2804.4	2804.4	2804.4	2804.4
Peso suelo humedo compactado	gr	4316.7	4571.5	4688.5	4613
Peso suelo humedo + tara	gr	506.7	604.2	553.6	671.8
Peso del suelo seco + tara	gr	491.0	568.3	505.2	604.1
Tara	gr	0	0	0	0
Peso del agua	gr	15.7	35.9	48.4	67.7
Peso del suelo seco	gr	491	568.3	505.2	604.1
Contenido de agua	%	3.20	6.32	9.58	11.21
Peso volumetrico humedo	gr/cm3	2.03	2.15	2.21	2.17
Peso volumetrico seco	gr/cm3	1.97	2.02	2.01	1.95
DENSIDAD MAXIMA - MDS (gr/cm3)					2.03
HUMEDAD OPTIMA - OCH (%)					7.6

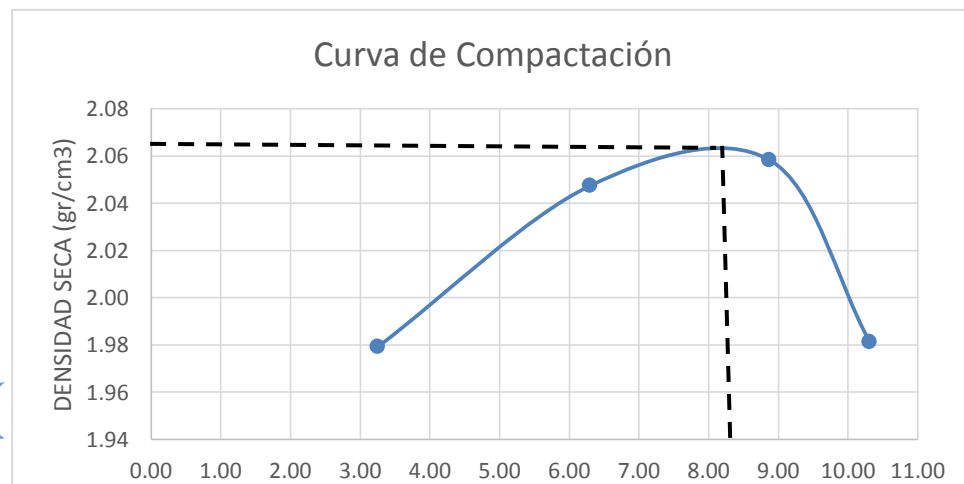
METODO	C
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	56
DSM (gr./cm³)	2.03
OCH (%)	7.60

DATOS DEL MOLDE	
PESO(gr):	2804.4
VOLUMEN(cm3):	2124.0

TABLA N° 26 DENSIDAD MAX Y HUMEDAD OPTIMA – HORMIGON (PROCTOR MODIFICADO)

MUESTRA N°2

VOLUMEN DEL MOLDE :		2124.00 $cm^3$			
PRUEBA N°		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	7145.3	7427.4	7564.1	7446.7
Peso molde	gr	2804.4	2804.4	2804.4	2804.4



Peso suelo humedo compactado	gr	4340.9	4623	4759.7	4642.3
Peso suelo humedo + tara	gr	506.7	604.2	553.6	671.8
Peso del suelo seco + tara	gr	491.0	568.3	505.2	604.1
Tara	gr	0	0	0	0
Peso del agua	gr	15.7	35.9	48.4	67.7
Peso del suelo seco	gr	482	569.4	545.6	656.7
Contenido de agua	%	3.26	6.30	8.87	10.31
Peso volumetrico humedo	gr/cm3	2.04	2.18	2.24	2.19
Peso volumetrico seco	gr/cm3	1.98	2.05	2.06	1.98
DENSIDAD MAXIMA - MDS (gr/cm3)					2.064
HUMEDAD OPTIMA - OCH (%)					8.3

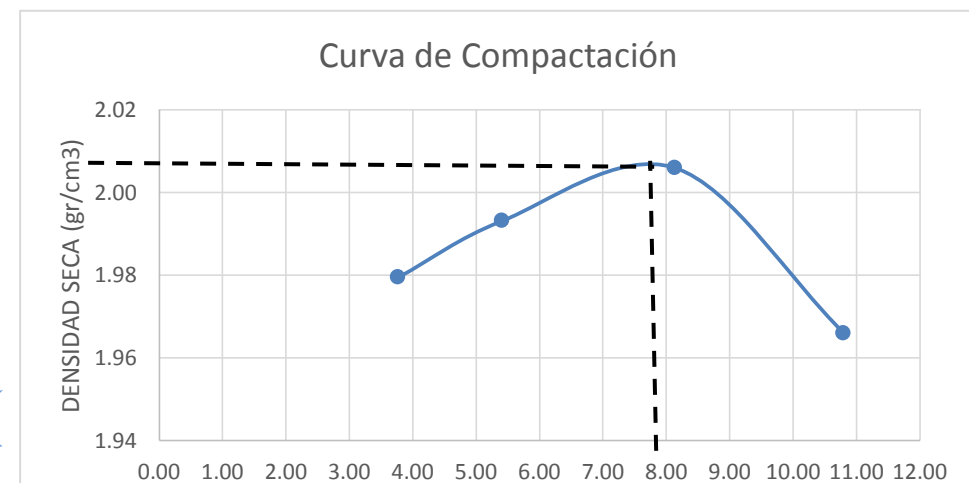
METODO	C
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	56
DSM (gr./cm <sup>3</sup> )	2.06
OCH (%)	8.30

DATOS DEL MOLDE	
PESO(gr):	2804.4
VOLUMEN(cm <sup>3</sup> ):	2124.0

TABLA N° 27 DENSIDAD MAX Y HUMEDAD OPTIMA – HORMIGON (PROCTOR MODIFICADO)

**MUESTRA N°3**

VOLUMEN DEL MOLDE :		2124.00 $cm^3$			
PRUEBA N°		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	7167.4	7266.9	7411.7	7431.2
Peso molde	gr	2804.4	2804.4	2804.4	2804.4



Peso suelo humedo compactado	gr	4363	4462.5	4607.31	4626.8
Peso suelo humedo + tara	gr	506.7	604.2	553.6	671.8
Peso del suelo seco + tara	gr	491.0	568.3	505.2	604.1
Tara	gr	0	0	0	0
Peso del agua	gr	15.7	35.9	48.4	67.7
Peso del suelo seco	gr	416.1	663.3	594.7	626.7
Contenido de agua	%	3.77	5.41	8.14	10.80
Peso volumetrico humedo	gr/cm3	2.05	2.10	2.17	2.18
Peso volumetrico seco	gr/cm3	1.98	1.99	2.01	1.97
DENSIDAD MAXIMA - MDS (gr/cm3)					2.007
HUMEDAD OPTIMA - OCH (%)					7.8

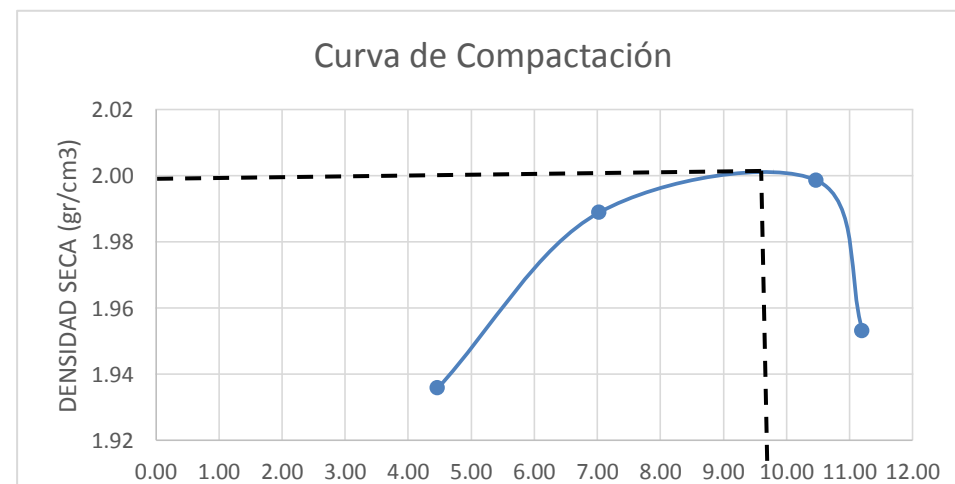
METODO	C
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	56
DSM (gr./cm³)	2.01
OCH (%)	7.80

DATOS DEL MOLDE	
PESO(gr):	2804.4
VOLUMEN(cm3):	2124.0

TABLA N° 28 DENSIDAD MAX Y HUMEDAD OPTIMA – HORMIGON (PROCTOR MODIFICADO)

**MUESTRA N°4**

VOLUMEN DEL MOLDE :		2124.00 $cm^3$			
PRUEBA N°		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	7100.1	7325.9	7494.1	7417.4
Peso molde	gr	2804.4	2804.4	2804.4	2804.4



Peso suelo humedo compactado	gr	4295.7	4521.5	4689.7	4613
Peso suelo humedo + tara	gr	506.7	604.2	553.6	671.8
Peso del suelo seco + tara	gr	485.0	564.5	501.1	604.1
Tara	gr	0	0	0	0
Peso del agua	gr	21.7	39.7	52.5	67.7
Peso del suelo seco	gr	485	564.5	501.1	604.1
Contenido de agua	%	4.47	7.03	10.48	11.21
Peso volumetrico humedo	gr/cm3	2.02	2.13	2.21	2.17
Peso volumetrico seco	gr/cm3	1.94	1.99	2.00	1.95
		DENSIDAD MAXIMA - MDS (gr/cm3)			2
		HUMEDAD OPTIMA - OCH (%)			9.6

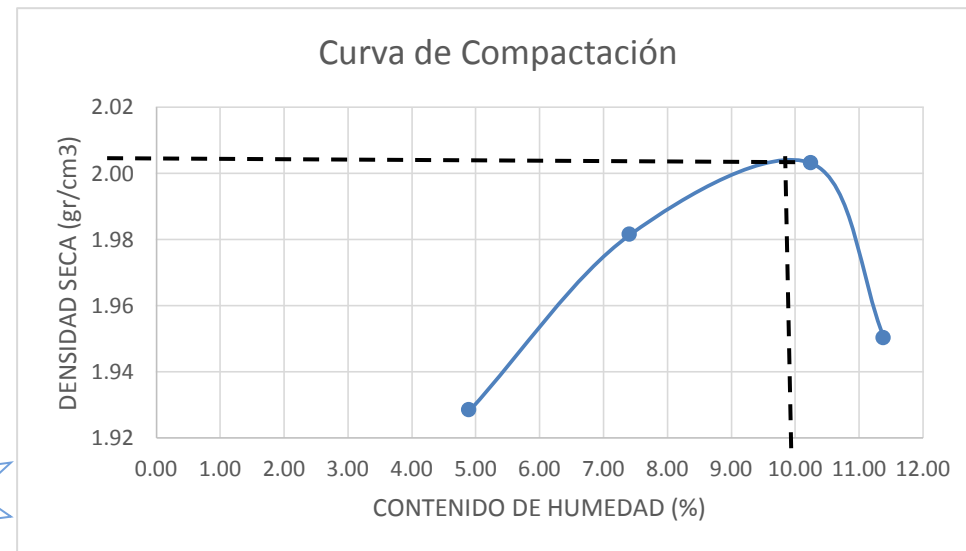
METODO	C
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	56
DSM (gr./cm³)	2.00
OCH (%)	9.60

DATOS DEL MOLDE	
PESO(gr):	2804.4
VOLUMEN(cm3):	2124.0

TABLA N° 29 DENSIDAD MAX Y HUMEDAD OPTIMA – HORMIGON (PROCTOR MODIFICADO)

**MUESTRA N°5**

VOLUMEN DEL MOLDE :		2124.00	<i>cm³</i>		
PRUEBA N°		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	7101.1	7324.9	7495.1	7418.4
Peso molde	gr	2804.4	2804.4	2804.4	2804.4
Peso suelo humedo compactado	gr	4296.7	4520.5	4690.7	4614
Peso suelo humedo + tara	gr	506.7	604.2	553.6	671.8



Peso del suelo seco + tara	gr	483.0	562.5	502.1	603.1
Tara	gr	0	0	0	0
Peso del agua	gr	23.7	41.7	51.5	68.7
Peso del suelo seco	gr	483	562.5	502.1	603.1
Contenido de agua	%	4.91	7.41	10.26	11.39
Peso volumetrico humedo	gr/cm3	2.02	2.13	2.21	2.17
Peso volumetrico seco	gr/cm3	1.93	1.98	2.00	1.95
DENSIDAD MAXIMA - MDS (gr/cm3)					2.001
HUMEDAD OPTIMA - OCH (%)					10

METODO	C
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	56
DSM (gr./cm³)	2.00
OCH (%)	10.00

DATOS DEL MOLDE	
PESO(gr):	2804.4
VOLUMEN(cm3):	2124.0

TABLA N° 30 ABSORCION DE AGREGADOS FINOS

ABSORCION DE AGREGADOS FINOS					
HORMIGON			AFIRMADO		
	SIGNIFICADO	PESO		SIGNIFICADO	PESO
A	Peso de la muestra secada	487 gr	A	Peso de la muestra secada	486 gr
B	Peso picnómetro + agua	690 cm3	B	Peso picnómetro + agua	682 cm3
C	Peso picnómetro + agua + muestra	1010 gr	C	Peso picnómetro + agua + muestra	987 gr
S	Peso muestra saturada	500 gr	S	Peso muestra saturada	500 gr
	Peso específico aparente	2.71 g/cm3		Peso específico aparente	2.49 g/cm3

Peso específico aparente (S.S.S)	2.78 g/cm <sup>3</sup>	Peso específico aparente (S.S.S)	2.56 g/cm <sup>3</sup>
Peso específico nominal	2.92 g/cm <sup>3</sup>	Peso específico nominal	2.69 g/cm <sup>3</sup>
Absorción (%)	2.67 %	Absorción (%)	2.88 %

TABLA N° 31 ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS

ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS			
HORMIGON		AFIRMADO	
SIGNIFICADO	PESO	SIGNIFICADO	PESO
<b>A</b> Peso de la muestra secada	3034.2 gr	<b>A</b> Peso de la muestra secada	3039.2 gr
<b>B</b> Peso en aire de la muestra sup. seca	3048 gr	<b>B</b> Peso en aire de la muestra sup. seca	3061 gr
<b>C</b> Peso de muestra sumergida en agua	1904.3 gr	<b>C</b> Peso de muestra sumergida en agua	1978.3 gr
Peso específico aparente	2.65 g/cm <sup>3</sup>	Peso específico aparente (S.S.S)	2.81 g/cm <sup>3</sup>
		Peso específico aparente (S.S.S)	2.83 g/cm <sup>3</sup>

Peso específico aparente (S.S.S)	2.67 g/cm <sup>3</sup>	Peso específico nominal	2.86 g/cm <sup>3</sup>
Peso específico nominal	2.69 g/cm <sup>3</sup>	Absorción (%)	0.72 %
Absorción (%)	0.45 %		

TABLA N° 32 ENSAYO DE COMPACTACION CBR - AFIRMADO



ENSAYO DE COMPACTACION CBR						
ESTADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
MOLDE	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3	
Nº DE CAPAS	5		5		5	
Nº DE GOLPES POR CAPA	25		56		12	
Peso de Suelo húmedo + Molde (gr.)	12579		12427		12562	
Peso de Molde (gr.)	7870		7870		7810	
Peso del suelo Húmedo (gr.)	4709.00		4557		4752	
Volumen de Molde (cm3)	3211		3211		3211	
Volumen del Disco Espaciador (cm3)	1013		1013		1013	
Volumen Util (cm3)	2198		2198		2198	
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.142		2.073		2.162	
<b>CAPSULA Nº</b>	<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	
Peso de suelo Húmedo + Cápsula (gr.)	220.0		192.0		215.0	
Peso de suelo seco + Cápsula (gr.)	205.0		181.3		198.90	
Peso de Agua (gr)	19.00		11.5		21.20	
Peso de Cápsula (gr.)	20		20		25	
Peso de Suelo Seco (gr.)	185.0		161.3		173.90	
% de Humedad	10.27		7.13		12.19	
Densidad de Suelo Seco (gr/cm3)	1.943		1.935		1.927	

TABLA Nº 33 ENSAYO DE COMPACTACION CBR - AFIRMADO

ENSAYO DE CARGA PENETRACION									
ENSAYO DE CARGA	LECTURA	MOLDE 1	56 GOLPES	LECTURA	MOLDE 2	25 GOLPES	LECTURA	MOLDE 3	12 GOLPES
PENETRACION	DIAL	lbs.	lbs/pulg2	DIAL	lbs.	lbs/pulg2	DIAL	lbs.	lbs/pulg2
0.025	340	1292.0	430.7	150	817.0	272.3	150	570.0	190.0
0.050	355	1349.0	449.7	165	931.0	310.3	165	627.0	209.0
0.075	385	1463.0	487.7	205	1083.0	361.0	205	779.0	259.7
0.100	410	1558.0	519.3	225	1159.0	386.3	225	855.0	285.0
0.200	450	1710.0	570.0	290	1387.0	462.3	290	1102.0	367.3
0.300	480	1824.0	608.0	340	1539.0	513.0	340	1292.0	430.7
0.400	515	1957.0	652.3	370	1653.0	551.0	370	1406.0	468.7

Valores Corregidos					
MOLDE N°	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg2)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B,R %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
1	0.1	519.3	1000	51.93	1.943
2	0.1	386.3	1000	38.63	1.935
3	0.1	285.0	1000	28.50	1.927
MOLDE N°	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg2)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B,R %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
1	0.2	570.0	1500	38.00	1.943
2	0.2	462.3	1500	30.82	1.935
3	0.2	367.3	1500	24.49	1.927
<b>C.B.R Al 100 % de la Máxima Densidad Seca</b>					<b>51.93%</b>
<b>C.B.R Al 95% de la Máxima Densidad Seca</b>					<b>46.73%</b>

GRÁFICA N°11 CURVA DE ESFUERZO – PENETRACION CBR

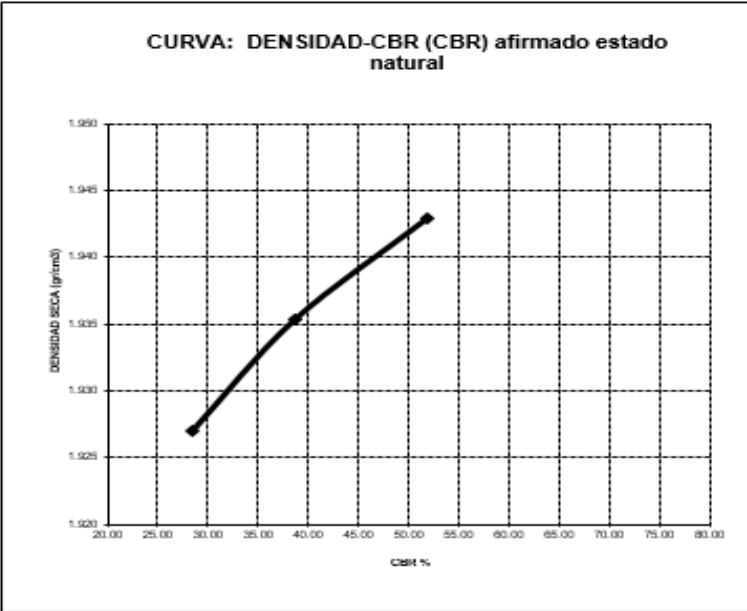
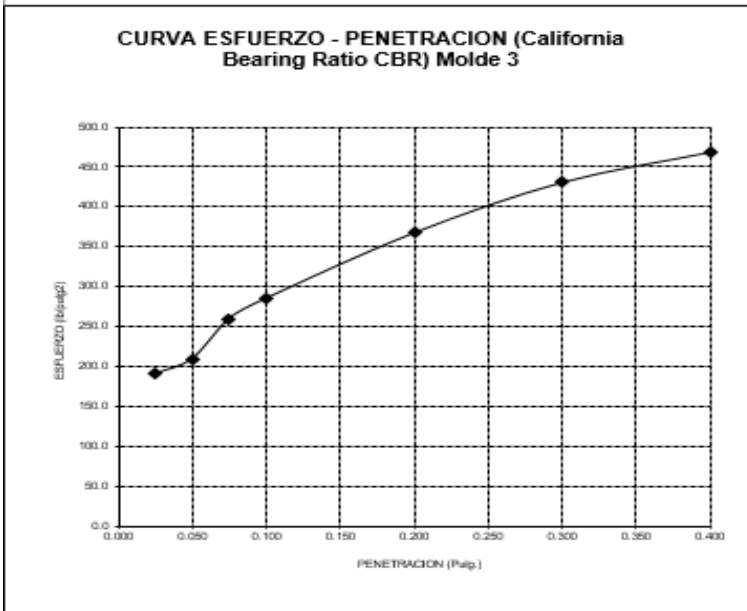
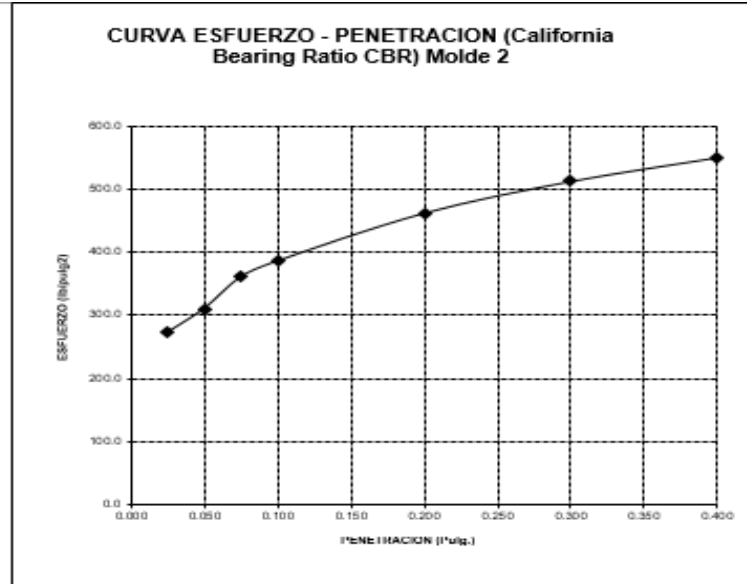
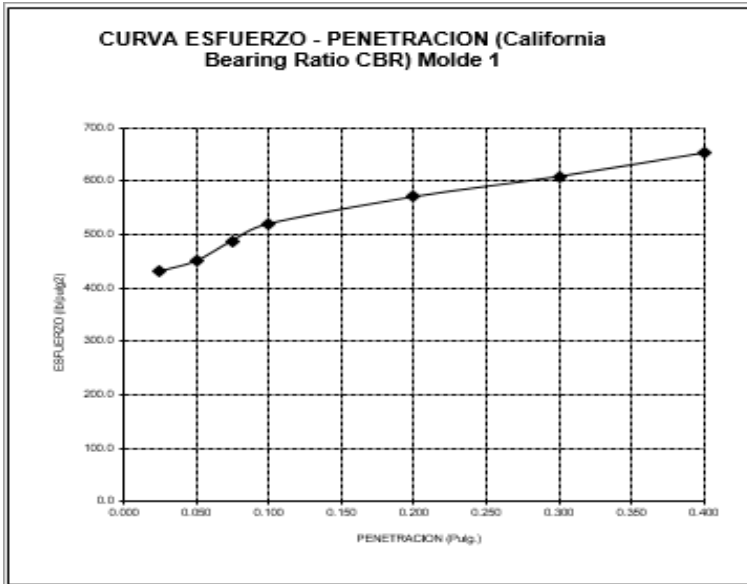


TABLA N° 34 ENSAYO DE COMPACTACION CBR - HORMIGÓN

**ENSAYO DE COMPACTACION CBR**

ESTADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
MOLDE	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3	
Nº DE GOLPES POR CAPA	56		25		12	
SOBRECARGA (gr.)	4530		4530		4530	
Peso de Suelo húmedo + Molde (gr.)	7184		6945		6827	
Peso de Molde (gr.)	4135		4135		4135	
Peso del suelo Húmedo (gr.)	3049.00		2810		2692	
Volumen de Molde (cm3)	3211		3211		3211	
Volumen del Disco Espaciador (cm3)	1095		1095		1095	
Volumen Util (cm3)	2116		2116		2116	
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.44		1.33		1.27	
<b>CAPSULA Nº</b>	<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	
Peso de suelo Húmedo + Cápsula (gr.)	69.0		67.0		66.5	
Peso de suelo seco + Cápsula (gr.)	64.7		64.5		62.87	
Peso de Agua (gr)	4.30		2.6		3.63	
Peso de Cápsula (gr.)	20		20		20	
Peso de Suelo Seco (gr.)	44.7		44.5		42.87	
% de Humedad	9.62		5.74		8.47	
Densidad de Suelo Seco (gr/cm3)	1.31		1.26		1.17	

TABLA N° 35 ENSAYO DE COMPACTACION CBR - HORMIGÓN

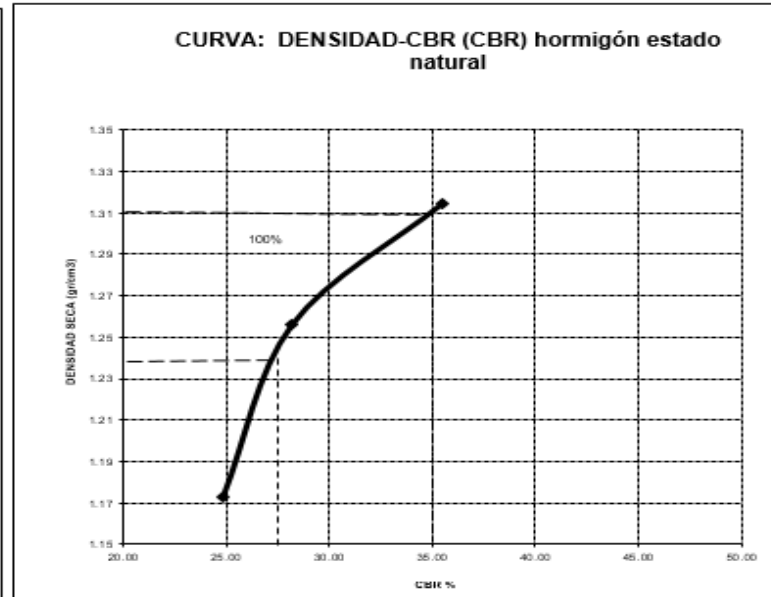
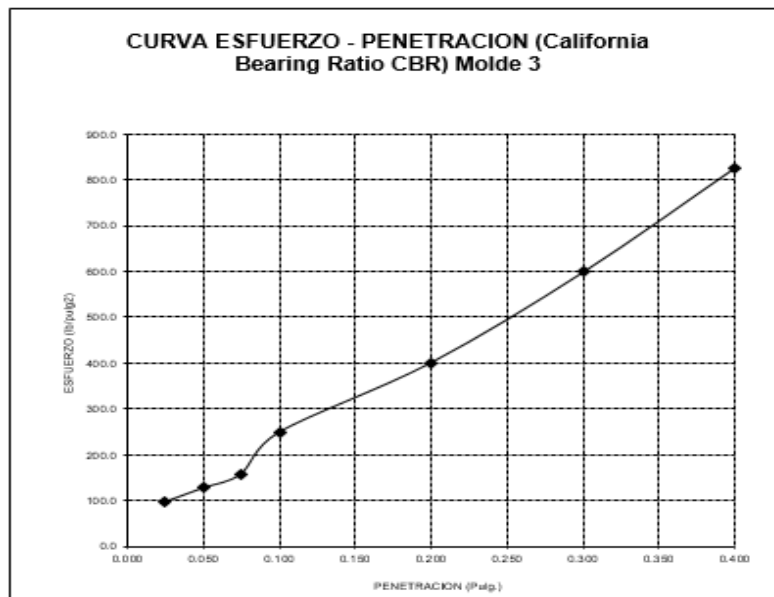
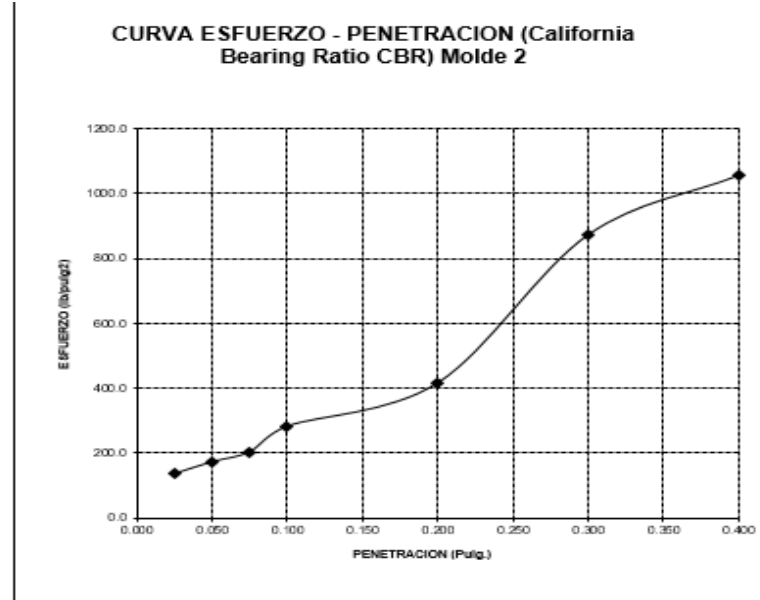
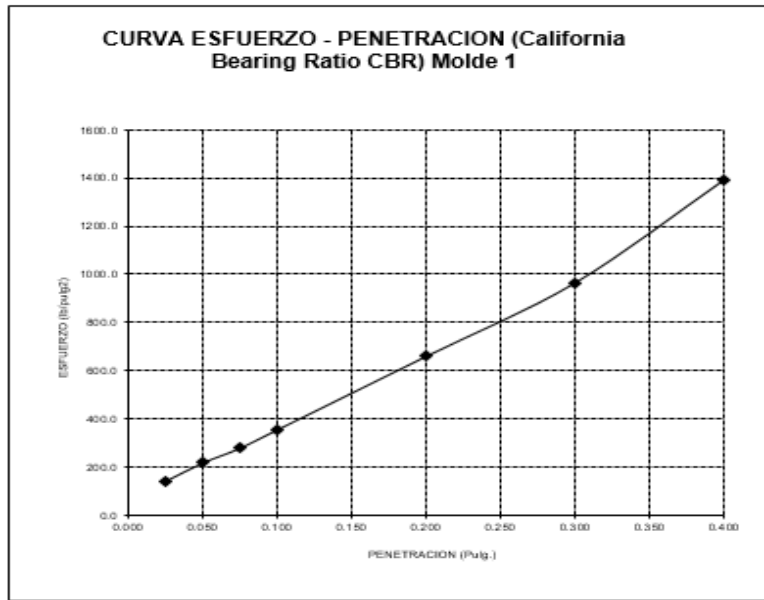
ENSAYO DE CARGA PENETRACION									
ENSAYO DE CARGA	LECTURA	MOLDE 1	56 GOLPES	LECTURA	MOLDE 2	25 GOLPES	LECTURA	MOLDE 3	12 GOLPES
PENETRACION	DIAL	lbs.	lbs/pulg2	DIAL	lbs.	lbs/pulg2	DIAL	lbs.	lbs/pulg2
0.025	50	427.2	142.4	48	409.0	136.3	35	290.5	96.8
0.050	75	655.1	218.4	60	518.3	172.8	45	381.6	127.2
0.075	95	837.4	279.1	70	609.5	203.2	55	472.8	157.6
0.100	120	1065.3	355.1	96	846.5	282.2	85	746.2	248.7
0.200	220	1976.9	659.0	140	1247.6	415.9	135	1202.0	400.7
0.300	320	2888.4	962.8	290	2615.0	871.7	200	1794.5	598.2
0.400	460	4164.6	1388.2	350	3161.9	1054.0	275	2478.2	826.1

Valores Corregidos					
MOLDE N°	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg2)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B,R %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
1	0.1	355.1	1000	35.51	1.31
2	0.1	282.2	1000	28.22	1.26
3	0.1	248.7	1000	24.87	1.17

MOLDE N°	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg2)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B,R %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
1	0.2	659.0	1500	43.93	1.31
2	0.2	415.9	1500	27.72	1.26
3	0.2	400.7	1500	26.71	1.17

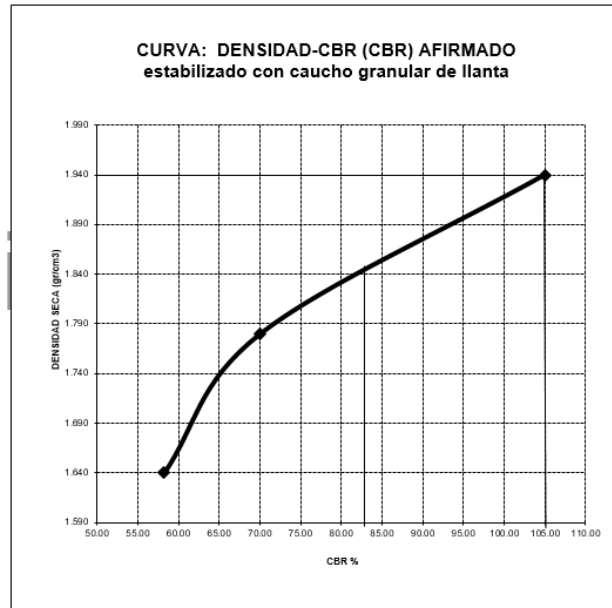
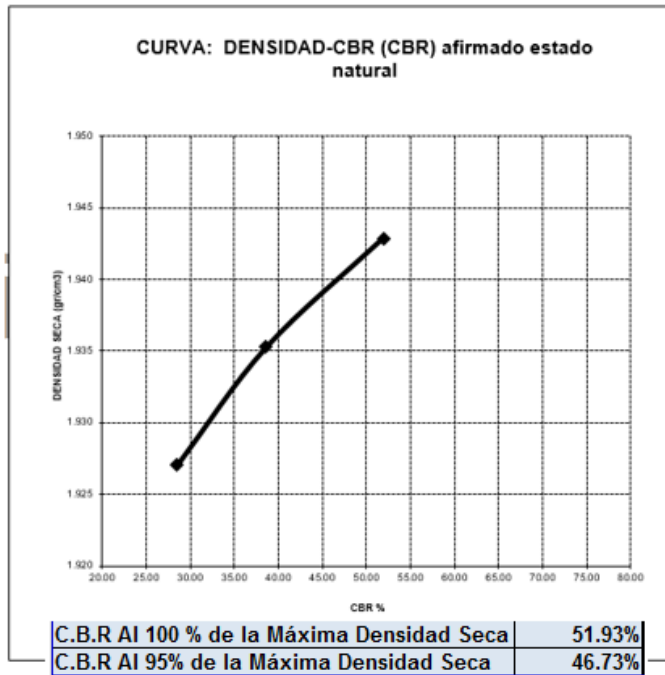
C.B.R Al 100 % de la Máxima Densidad Seca	35.00%
C.B.R Al 95% de la Máxima Densidad Seca	27.50%

# GRÁFICA N°12 CURVA DE ESFUERZO – PENETRACION CBR



GRÁFICA

# N°13 CURVA DE ESFUERZO – PENETRACION CBR: AFIRMADO ESTADO NATURAL Y ESTABILIZADO CON CAUCHO DE LLANTA



Valores Corregidos					
MOLDE N°	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg2)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
1	0.1	1050.0	1000	105.00	1.940
2	0.1	700.0	1000	70.00	1.780
3	0.1	582.0	1000	58.20	1.640

MOLDE N°	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg2)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
1	0.2	2667.0	1500	177.80	1.940
2	0.2	1514.0	1500	100.93	1.780
3	0.2	905.0	1500	60.33	1.640

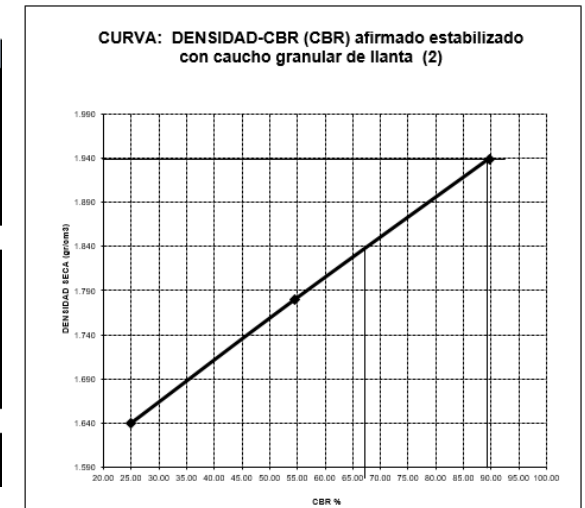
<b>C.B.R Al 100 % de la Máxima Densidad Seca</b>	<b>105.00%</b>
<b>C.B.R Al 95% de la Máxima Densidad Seca</b>	<b>83.70%</b>

Valores Corregidos					
MOLDE N°	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg2)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
1	0.1	897.5	1000	89.75	1.940
2	0.1	545.0	1000	54.50	1.780
3	0.1	248.7	1000	24.87	1.640

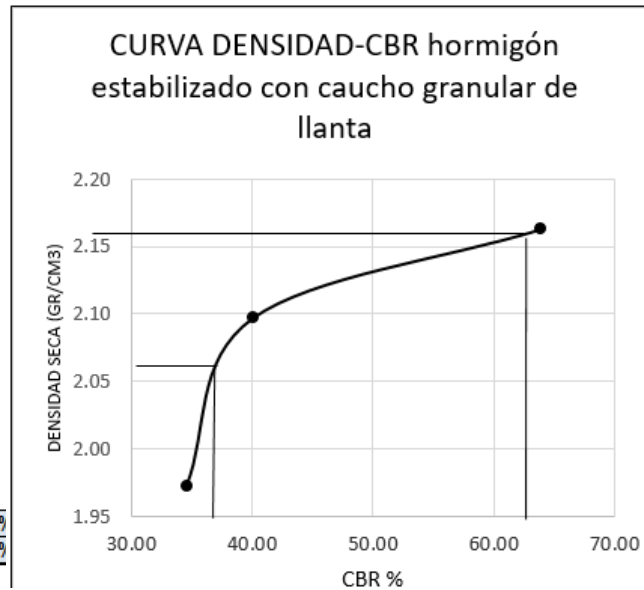
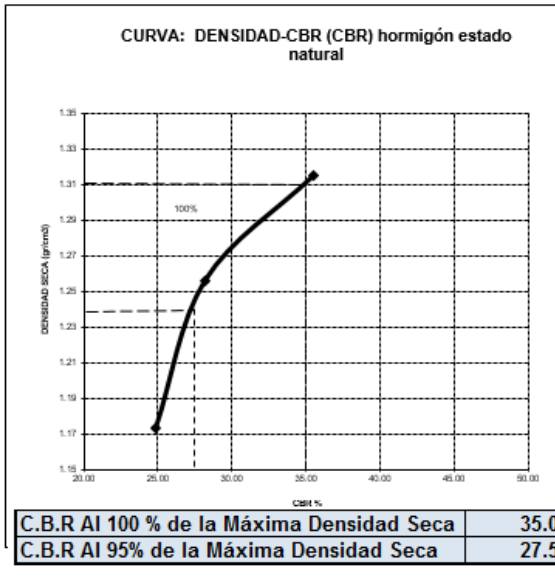
MOLDE N°	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg2)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
1	0.2	1049.4	1500	69.96	1.940
2	0.2	696.9	1500	46.46	1.780
3	0.2	400.7	1500	26.71	1.640

<b>C.B.R Al 100 % de la Máxima Densidad Seca</b>	<b>89.75%</b>
<b>C.B.R Al 95% de la Máxima Densidad Seca</b>	<b>67.40%</b>





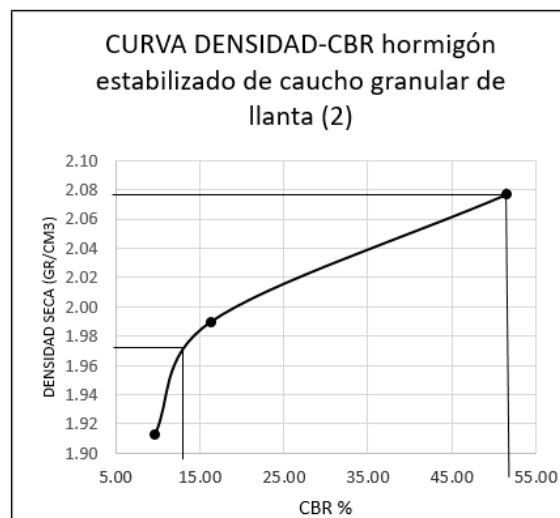
GRÁFICA N°14 CURVA DE ESFUERZO – PENETRACION CBR: HORMIGÓN ESTADO NATURAL Y ESTABILIZADO CON CAUCHO DE LLANTA



Valores Corregidos					
MOLDE N°	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg2)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B,R %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
1	0.1	659.0	1000	63.90	2.16
2	0.1	400.7	1000	40.07	2.10
3	0.1	346.0	1000	34.60	1.97

MOLDE N°	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg2)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B,R %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
1	0.2	1054.0	1500	70.26	2.16
2	0.2	838.2	1500	55.88	2.10
3	0.2	689.3	1500	45.96	1.97

C.B.R Al 100 % de la Máxima Densidad Seca	63.20%
C.B.R Al 95% de la Máxima Densidad Seca	36.00%



Valores Corregidos					
MOLDE N°	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg2)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B,R %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
1	0.1	516.1	1000	51.61	2.08
2	0.1	163.7	1000	16.37	1.99
3	0.1	96.8	1000	9.68	1.91

MOLDE N°	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg2)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B,R %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
1	0.2	1038.8	1500	69.25	2.08
2	0.2	370.3	1500	24.69	1.99
3	0.2	227.5	1500	15.17	1.91

C.B.R Al 100 % de la Máxima Densidad Seca	51.61%
C.B.R Al 95% de la Máxima Densidad Seca	13.50%



## **PANEL FOTOGRAFICO**

VISTA DE CANTERAS LEKERSA, SAN MARTIN, LA SOLEDAD.





## RECOLECCION DE MATERIAL DE MUESTRA



## VISTA DE SELECCIÓN DE TAMICES PARA ENSAYO DE GRANULOMETRIA



## SELECCIÓN DE MATERIALES PARA ENSAYOS EN LABORATORIO





## PESO DE MUESTRA EN BALANZA ELECTRICA EN LABORATORIO



VISTA DE  
TRABAJOS EN  
LABORATORIO







VISTA DE TRABAJOS DE ENSAYO GRANULOMETRICO



VISTA DE MUESTRA DEL ARIDO EN HORNO



VISTA DE TRABAJOS ENSAYO PROCTOR MODIFICADO LABORATORIO CEPECAP









