

**RECICLAJE DE DESECHOS DE CONCRETO PARA SER UTILIZADOS COMO  
AGREGADO PÉTREO EN LA CONSTRUCCIÓN DE BASE O SUBBASE DE  
UNA VÍA CON PAVIMENTO FLEXIBLE O RÍGIDO.**

**PRISMA TATIANA GUEVARA RODRÍGUEZ  
JUAN CARLOS MORENO VARGAS**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2014**

**RECICLAJE DE DESECHOS DE CONCRETO PARA SER UTILIZADOS COMO  
AGREGADO PÉTREO EN LA CONSTRUCCIÓN DE BASE O SUBBASE DE  
UNA VÍA CON PAVIMENTO FLEXIBLE O RÍGIDO.**

**PRISMA TATIANA GUEVARA RODRÍGUEZ  
JUAN CARLOS MORENO VARGAS**

Trabajo de Grado como requisito para optar el titulo de

**INGENIERO CIVIL**

Director:

**LUIS ALBERTO CAPACHO**

**Ingeniero Civil, M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2014**

## DEDICATORIA

Quiero dedicar mi primer gran triunfo al Padre Celestial sin él hubiese sido imposible vivirlo y culminarlo y a todas las personas que me han brindado todas esas enseñanzas que me hacen ser lo que hoy soy.

Madre, gracias por ser ese pilar eterno de fuerza, valor y amor ilimitado, sin todo esto y muy seguramente por muchas cosas más, no sería la persona que en estos momentos estaría a punto de cumplir este sueño.

Padre, a ti te debo mucho, tu apoyo nunca fue escaso, de hecho fue inagotable, gracias por creer en mí y lo logré, te aseguro que no será la última vez en que te haga sentir orgulloso.

Tu hermoso hijo, quien me diste a conocer ese amor infinito y me diste ese impulso incansable de hacerle feliz, de ver tu sonrisa cada día y darte siempre lo mejor.

A ti que me has acompañado en mí aprender de vida y con quien comparto y compartiré los pequeños y grandes tropiezos para llegar a donde queremos.

Prisma T.

## DEDICATORIA

*Hoy puedo decir que mi visión de un futuro deseado, se expresa en tiempo presente. Por esto gracias Dios porque más que pedirte, tengo que agradecerte, a mis padres Martha y Melquisedec por todo el amor que me brindan, a mis hermanos, porque siempre pude contar con ustedes, a todos mis maestros, porque siempre dieron lo mejor de ustedes para crear mi potencial como ser humano y el profesional que soy “Ingeniero Civil”.*

*Andrea Ferreira quien siempre estuvo apoyando y generando motivación para poder culminar un sueño que abre nuevas metas.*

JC MV

## **AGREDECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos al Ingeniero Civil y director de proyecto Luis Alberto Capacho, por asesoría y disponibilidad ante el desarrollo de actividades. Al Ingeniero Civil Melquisedec Moreno Vargas por gestionar la ayuda prestada por el consorcio CC-MP-HV CUSIANA en equipos y los recursos de infraestructura para poder llevar a cabo este proyecto.

Prisma Tatiana Guevara Rodriguez  
Juan Carlos Moreno Vargas

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	19
1. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
2. OBJETIVOS.....	22
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	22
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
3. OBTENCIÓN DEL AGREGADO PÉTREO.....	23
3.1. UBICACIÓN DE ESCOMBROS.....	23
3.2. RECICLAJE.....	24
3.3. TRANSPORTE DE RESIDUOS A PLANTA TRITURADORA.....	24
3.4. TRITURACIÓN Y DISPOSICIÓN DE ESCOMBROS.....	25
4. EXIGENCIAS PARA LA CALIDAD DEL AGREGADO EN BASES Y SUBBASES GRANULARES.....	26
4.1. COMPOSICIÓN.....	26
4.1.1. Granulometría – Norma INV E 213.....	26
4.2. DUREZA.....	29
4.2.1. Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A) – Norma INV E 218.....	29
4.3. DURABILIDAD.....	31
4.3.1. Sulfato de Sodio -Norma INV E 220.....	31
4.4. LIMPIEZA.....	31
4.4.1. Límite Líquido - Norma INV E 125.....	31
4.4.2. Límite Plástico e Índice de Plasticidad de suelos – Norma INV E 126.....	33
4.4.3. Equivalente de Arena (%) – Norma INV E 133.....	34
4.5. GEOMETRÍA DE LAS PARTÍCULAS.....	35
4.5.1. Índices de Alargamiento y Aplanamiento (%) – Norma INV E 230.....	35
4.5.2. Porcentaje de Caras Fracturadas (una cara) – Norma INV E 227.....	36
4.6. RESISTENCIA DEL MATERIAL.....	37
4.6.1. Relación de soporte del suelo en el laboratorio CBR (%) – Norma INV E 148.....	37
4.7. OTROS LABORATORIOS REALIZADOS AL AGREGADO PÉTREO.....	39
4.7.1. Ensayo modificado de compactación – Norma INV E 142.....	39
4.7.2. Peso unitario del suelo en el terreno - método del cono y arena- Norma INV E 16140.....	
5. ANÁLISIS AGREGADO NATURAL.....	41
5.1. AGREGADO NATURAL PARA BASE GRANULAR.....	41

5.2. Agregado Natural para Subbase Granular .....	43
6. RECICLAJE DE CONCRETO.....	45
7. CONCLUSIONES.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	49
ANEXOS .....	50

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> % Humedad vs No. de Golpe.....	32
<b>Figura 2.</b> Carta de Plasticidad.....	33
<b>Figura 3.</b> Gráfica esfuerzo vs Penetración respecto a los datos de la tabla 14.....	38
<b>Figura 4.</b> (a) Gráfica Densidad Seca vs Humedad, (b) Gráfica Densidad Seca vs CBR..	38
<b>Figura 5.</b> Ensayo de Compactación (Gráfica Densidad Seca vs Humedad).....	39

## LISTA DE FOTOS

<b>Foto 1.</b> Residuos a Reciclar .....	23
<b>Foto 2.</b> Obra Transversal Cusiana .....	23
<b>Foto 3.</b> Reciclaje del concreto .....	24
<b>Foto 4.</b> Transporte del Material Reciclado.....	24
<b>Foto 5.</b> Planta de Trituración y Asfalto del CONSORCIO CC-MP-HV CUSIANA.....	25
<b>Foto 6.</b> Agregado pétreo producto del concreto reciclado .....	25
<b>Foto 7.</b> Tramo Experimental con el Agregado Pétreo.....	26

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Franjas granulométricas del material de base granular.....	27
<b>Tabla 2.</b> Análisis granulométrico del agregado pétreo para Base Granular. ....	28
<b>Tabla 3.</b> Franjas granulométricas del material de Subbase Granular.....	28
<b>Tabla 4.</b> Análisis granulométrico del agregado pétreo para Subbase Granular. ....	29
<b>Tabla 5.</b> Abrasión en la máquina de los Ángeles del Agregado pétreo para Base Granular. ....	30
<b>Tabla 6.</b> Abrasión en la máquina de los Ángeles del Agregado pétreo para Subbase Granular ....	30
<b>Tabla 7.</b> Sanidad en Sulfatos (análisis cuantitativo con 5 ciclos) .....	31
<b>Tabla 8.</b> Datos del ensayo de Límite líquido .....	32
<b>Tabla 9.</b> Datos del ensayo de Límite Plástico .....	33
<b>Tabla 10.</b> Resultado de los ensayos de: Limite Líquido y Límite Plástico para el calculo del Índice plástico .....	34
<b>Tabla 11.</b> Datos del ensayo de Equivalente de Arena para la Base Granular.....	34
<b>Tabla 12.</b> Resultados obtenidos del ensayo de índices de alargamiento y aplanamiento	35
<b>Tabla 13.</b> Resultados del ensayo de Caras Fracturadas (una cara) .....	36
<b>Tabla 14.</b> Datos del ensayo de penetración para CBR .....	37
<b>Tabla 15.</b> Resultados ensayo de CBR.....	39
<b>Tabla 16.</b> Resultados del Ensayo de Compactación.....	40
<b>Tabla 17.</b> Resultado de ensayo de cono y arena.....	40
<b>Tabla 18.</b> Análisis granulométrico del agregado Natural para Base Granular .....	41
<b>Tabla 19.</b> Resultados de los ensayos para Base Granular del Agregado Natural y Agregado Reciclado con las exigencias de la norma del Invias .....	42
<b>Tabla 20.</b> Análisis granulométrico del agregado Natural para Subbase Granular .....	43
<b>Tabla 21.</b> Resultados de los ensayos para Subbase Granular del Agregado Natural y Agregado Pétreo con las exigencias de la norma del Invias .....	44

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Análisis Granulométrico para el Agregado Pétreo en Base Granular. ....	50
<b>Anexo 2.</b> Abrasión de Agregados en la Máquina de los Ángeles para el Agregado Pétreo en Base Granular.....	51
<b>Anexo 3.</b> Sanidad en Sulfatos para el Agregado Pétreo en Base Granular. ....	52
<b>Anexo 4.</b> Límite Líquido - Límite Plástico - Índice de Plasticidad para el Agregado Pétreo en Base Granular.....	53
<b>Anexo 5.</b> Equivalente de Arena para el Agregado Pétreo en Base Granular.....	54
<b>Anexo 6.</b> Índices de Alargamiento y Aplanamiento para el Agregado Pétreo en Base Granular. ....	55
<b>Anexo 7.</b> Ensayo de Porcentaje de Caras Fracturadas para el Agregado Pétreo en Base Granular. ....	56
<b>Anexo 8.</b> Ensayo de CBR de laboratorio método I para el Agregado Pétreo en Base Granular (primera parte). ....	57
<b>Anexo 9.</b> Ensayo de CBR de laboratorio método I para el Agregado Pétreo en Base Granular (segunda parte).....	58
<b>Anexo 10.</b> Peso unitario del Suelo en el Terreno – Método del Cono y Arena para el Agregado Pétreo en Base Granular. ....	59
<b>Anexo 11.</b> Ensayo de Compactación en Laboratorio – Proctor Modificado para el Agregado Pétreo en Base Granular.....	60
<b>Anexo 12.</b> Análisis Granulométrico para el Agregado Natural en Base Granular. ....	61
<b>Anexo 13.</b> Abrasión de Agregados en la Máquina de los Ángeles para el Agregado Natural en Base Granular. ....	62
<b>Anexo 14.</b> Sanidad en Sulfatos para el Agregado Natural en Base Granular.....	63
<b>Anexo 15.</b> Límite Líquido - Límite Plástico - Índice de Plasticidad para el Agregado Natural en Base Granular. ....	64
<b>Anexo 16.</b> Equivalente de Arena para el Agregado Natural en Base Granular.....	65
<b>Anexo 17.</b> Índices de Alargamiento y Aplanamiento para el Agregado Natural en Base Granular. ....	66
<b>Anexo 18.</b> Ensayo de Porcentaje de Caras Fracturadas para el Agregado Natural en Base Granular. ....	67

<b>Anexo 19.</b> Ensayo de CBR de laboratorio método I para el Agregado Natural en Base Granular (primera parte). .....	68
<b>Anexo 20.</b> Ensayo de CBR de laboratorio método I para el Agregado Natural en Base Granular (segunda parte).....	69
<b>Anexo 21.</b> Peso unitario del Suelo en el Terreno – Método del Cono y Arena para el Agregado Pétreo en Base Granular.....	70
<b>Anexo 22.</b> Ensayo de Compactación en Laboratorio – Proctor Modificado para el Agregado Natural en Base Granular. ....	71
<b>Anexo 23.</b> Análisis Granulométrico para el Agregado Pétreo en Subbase Granular. ....	72
<b>Anexo 24.</b> Abrasión de Agregados en la Máquina de los Ángeles para el Agregado Pétreo en Subbase Granular.....	73
<b>Anexo 25.</b> Equivalente de Arena para el Agregado Pétreo en Subbase Granular. ....	74
<b>Anexo 26.</b> Ensayo de CBR de laboratorio método I para el Agregado Pétreo en Subbase Granular (primera parte). ....	75
<b>Anexo 27.</b> Ensayo de CBR de laboratorio método I para el Agregado Pétreo en Subbase Granular (segunda parte).....	76
<b>Anexo 28.</b> Análisis Granulométrico para el Agregado Natural en Subbase Granular. ....	77
<b>Anexo 29.</b> Abrasión de Agregados en la Máquina de los Ángeles para el Agregado Natural en Subbase Granular. ....	78
<b>Anexo 30.</b> Equivalente de Arena para el Agregado Natural en Subbase Granular.....	79
<b>Anexo 31.</b> Ensayo de CBR de laboratorio método I para el Agregado Natural en Subbase Granular (primera parte). ....	80
<b>Anexo 32.</b> Ensayo de CBR de laboratorio método I para el Agregado Natural en Subbase Granular (segunda parte).....	81

## RESUMEN

Título: RECICLAJE DE DESECHOS DE CONCRETO PARA SER UTILIZADOS COMO AGREGADO PÉTREO EN LA CONSTRUCCIÓN DE BASE O SUBBASE DE UNA VÍA CON PAVIMENTO FLEXIBLE O RÍGIDO.\*

Autores: Prisma Tatiana Guevara Rodríguez  
Juan Carlos Moreno Vargas\*\*

Palabras claves: Reciclaje, Agregado Pétreo, Base, Subbase, Triturado, Pavimento Flexible, Pavimento Rígido.

Contenido:

Este proyecto de investigación, propone un nuevo agregado pétreo para la construcción de bases y subbases en pavimentos flexibles y pavimentos rígidos, el cual está en línea con los diferentes ensayos por parte del INVIAS (Instituto Nacional de Vías). Los residuos de construcción y demolición de estructuras son uno de los principales problemas de las grandes ciudades, representan una gran pérdida de la adición natural que compone al concreto. Tener estos residuos, implica la necesidad de tener un lugar para su disposición final. Es por eso que este proyecto propone una solución alternativa, el reciclaje de residuos de concreto, para ser utilizado como agregado pétreo en la construcción de la base o subbase de una vía con pavimento flexible o pavimento rígido y por lo tanto ayudar a reducir la contaminación, la explotación de los recursos naturales, la disminución de la invasión de los espacios públicos y contribuir al desarrollo urbano sostenible creando conciencia ambiental para ver el concreto viejo como un recurso y no como residuo. No es frecuente que el concreto pueda ser “reutilizado” en el sentido en que sea reutilizado en su forma original, tampoco puede ser “reciclado” de regreso a sus componentes originales, en su lugar, el concreto puede ser fragmentado en bloques más pequeños o en agregado para darle nueva vida y utilidad en diferentes campos de la construcción.

---

\* Proyecto de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director. M.Sc. LUIS ALBERTO CAPACHO SILVA

## ABSTRACT

Title: RECYCLING OF WASTE CONCRETE, TO BE USED AS STONE AGGREGATE IN THE BASE OR SUBBASE CONSTRUCTION OF A ROAD WITH FLEXIBLE OR RIGID PAVEMENT\*

Authors: Prisma Tatiana Guevara Rodríguez  
Juan Carlos Moreno Vargas\*\*

Keywords: Recycling, Stone Aggregate, Base, Subbase, Shredding, Flexible Pavement, Rigid Pavement.

### Content

This research Project, proposes a new aggregate for the construction of bases or subbases in flexibles pavements or rigid pavements which is in line with the different trials by the INVIAS (Instituto Nacional de Vías). Waste from construction and demolition of structures are one of the main problems in big cities, represent a loss of the natural addition that makes up the concrete. To have these wastes, implies the need of having a place for their final disposal. That's why this project proposes an alternative solution, the recycling of waste concrete, to be used as stone aggregate in the base or subbase construction of a road with flexible or rigid pavement and thus help reduce pollution, exploitation of natural resources, decrease of invasion of public spaces and contribute to sustainable urban development creating environmental awareness to see old concrete as a resource and not as waste. It is not often that the concrete can be "reused" in the sense that is reused in its original form, can not be "recycled" back to their original components in place, the concrete can be fragmented into smaller blocks or in addition to give it new life and utility in various fields of construction.

---

\* Research Project.

\*\* Faculty of physical and mechanical engineering. School of Civil Engineering. Director. M.Sc. LUIS ALBERTO CAPACHO SILVA

## INTRODUCCIÓN

Este artículo presenta la investigación e implementación de un agregado pétreo industrial que sirva como componente para la construcción de bases en pavimentos flexibles. La implementación del agregado es de gran importancia estratégica para el desarrollo de esta investigación que lleva a la generación de agregados para aportar a la ayuda del medio ambiente reduciendo la contaminación de humedales y cuencas de ríos, la explotación de recursos naturales como minas y canteras, disminución de la invasión de espacios públicos, vías y lotes con escombros de construcción.

Para la construcción de bases granulares, es obligatorio el empleo de un agregado que contenga una fracción producto de trituración mecánica. Estas partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica u otras sustancias perjudiciales.

En este proceso de ensayar el agregado, se tienen en cuenta el Artículo 300-07 de la norma Invías, donde se encuentra los requisitos de los agregados para base y subbase granular en la Tabla 300.1 la cual muestra los ensayos de: composición, dureza, durabilidad, limpieza, geometría de las partículas y resistencia del material y así de esta manera determinar para que nivel de tránsito es adecuado este nuevo agregado pétreo.

## 1. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Los residuos de la construcción y demolición de estructuras son uno de los principales problemas en las grandes ciudades, debido a que representa una pérdida de las materias primas que componen el concreto, como lo es el agregado natural, ya que este insumo es un recurso natural no renovable. Asimismo, este residuo implica la necesidad de un sitio para su disposición final, lo que a su vez, representa un problema debido a la escasez de áreas disponibles para ello. Por lo tanto, resulto imperativo dar una solución al problema. Y de esta manera ayudar a la reducción de la contaminación de humedales y cuencas de ríos, reducción de la explotación de recursos naturales como minas y canteras, disminución de la invasión de espacios públicos, vías y lotes con escombros de construcción y aportar al desarrollo urbano sostenible.

El reciclaje se realizo al material factible, es decir al concreto que provienen de demoliciones y desechos de la industria de la construcción. Es importante recalcar el cuidado que se debió tener de no contaminar el producto a reciclar, ya que, para poder llevar a cabo esta actividad, debieron estar libres de materiales tales como: basura, papel, madera, plástico, baldosas, ladrillo, entre otros. Luego de la selección de los desechos reciclados, pasaron por el debido procedimiento de trituración para poder ser utilizados como agregado pétreo en base o subbase en una vía con pavimento flexible o rígido.

Este proyecto de grado tiene incluido la explicación y análisis del laboratorio con los resultados óptimos obtenidos de los estudios y análisis requeridos en cuanto a las características mecánicas del pavimento, confeccionado con escombros de concreto, tales como su resistencia, desgaste y características físicas.

Para el desarrollo de esta investigación, se conto con los recursos de infraestructura de la planta Trituración y Asfalto del CONSORCIO CC-MP-HV

CUSIANA, localizada en la vereda Toquilla del Municipio de Aquitania del Departamento Boyacá. La cual nos suministro los equipamientos para probar los materiales de reciclaje de concreto en un tramo experimental de la vía Pajarito-Boyacá.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar las propiedades mecánicas de un nuevo agregado, producto del concreto reciclado y debidamente triturado, para ser utilizado como base o subbase de una vía vehicular, con pavimento flexible o rígido.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Reciclar desechos de concreto, para ser utilizados como agregado pétreo en base o subbase de una vía vehicular con pavimento flexible o rígido, los cuales hayan tenido un proceso técnico de trituración.
- Realizar ensayos de laboratorio que permitan evaluar las propiedades mecánicas del agregado pétreo producto del concreto reciclado, comparando ante igualdad de condiciones con agregados naturales, tales como: granulometría, abrasión de agregados en la maquina de los santos, ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento, porcentaje de caras fracturadas, CBR, etc.
- Obtener un resultado del agregado para ser analizado según las Normas Técnicas Colombianas (NTC) y/o la norma del INVIAS, y establecer su uso en base o subbase del pavimento de una vía vehicular.
- Generar desarrollo sostenible y ambiental creando conciencia en nuestra comunidad.

### 3. OBTENCIÓN DEL AGREGADO PÉTREO

A continuación se expone la metodología implementada a partir de la cual se desarrolló el presente proyecto.

#### 3.1. UBICACIÓN DE ESCOMBROS

Los residuos a reciclar fueron obtenidos de probetas de concreto y placas utilizadas para campamentos (Foto 1), en la obra Transversal Cusiana (Foto 2), del municipio de Pajarito-Boyacá. Las probetas fueron elaboradas con un Cemento Portland Tipo 1 y agregado natural, con una resistencia de 21 MPa.

**Foto 1.** Residuos a Reciclar



**Foto 2.** Obra Transversal Cusiana



### 3.2. RECICLAJE

Al material anteriormente mencionado se le realizó un proceso de selección y de separación de materiales contaminantes como basura, papel, madera, plástico, entre otros, como se observa en la Figura 3, ya que la calidad del agregado producido depende de la calidad del material original y del grado de procesamiento y separación.

**Foto 3.** Reciclaje del concreto



### 3.3. TRANSPORTE DE RESIDUOS A PLANTA TRITURADORA

Con los equipos y los recursos de infraestructura de La Planta de Trituración y Asfalto del CONSORCIO CC-MP-HV CUSIANA (Figura 4). Localizada en la vereda de Toquilla del Municipio de Aquitania del Departamento de Boyacá, se transportaron los residuos seleccionados a reciclar de la obra, hasta la planta de trituración.

**Foto 4.** Transporte del Material Reciclado



### 3.4. TRITURACIÓN Y DISPOSICIÓN DE ESCOMBROS

Transportados los residuos a la planta trituradora (Figura 5), se dispone a realizar el procedimiento para obtener el agregado pétreo producto del concreto reciclado (Figura 6).

**Foto 5.** Planta de Trituración y Asfalto del CONSORCIO CC-MP-HV CUSIANA



**Foto 6.** Agregado pétreo producto del concreto reciclado



#### **4. EXIGENCIAS PARA LA CALIDAD DEL AGREGADO EN BASES Y SUBBASES GRANULARES**

Los requisitos de calidad que debe cumplir un agregado pétreo para Base y Subbase Granular están estipulados en la Tabla 300.1 del Artículo 300-07 de la norma del Invías (Instituto Nacional de Vías)<sup>1</sup>.

Así mismo el Artículo 100-07 del Invías trata las exigencias en relación con la calidad de los materiales y de las mezclas para la construcción de pavimentos<sup>2</sup>.

Para la realización de este proyecto se construyó un tramo experimental con el Agregado Pétreo en la vía Crucero – Pajarito departamento de Boyacá, entre el kilómetro 22 al kilómetro 83, en un trayecto de 100 m (foto 7).

**Foto 7.** Tramo Experimental con el Agregado Pétreo



#### **4.1. COMPOSICIÓN**

##### **4.1.1. Granulometría – Norma INV E 213**

Este método se usa principalmente para determinar la granulometría de los materiales propuestos que serán utilizados como agregados. Los resultados se

---

<sup>1</sup> Comisión Asesora Permanente para el régimen del Ministerio de Transporte. “Normatividad Instituto Nacional de Vías INVIAS-07” 1ª edición. Bogota 2007. Especificaciones, Artículo 300, p. 8.

<sup>2</sup> Comisión Asesora Permanente para el régimen del Ministerio de Transporte. “Normatividad Instituto Nacional de Vías INVIAS-07” 1ª edición. Bogota 2007. Especificaciones Artículo 100, p. 5

emplean para determinar el cumplimiento de los requerimientos de las especificaciones<sup>3</sup>.

**Tabla 1.** Franjas granulométricas del material de base granular.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA	
NORMAL	ALTERNO	BG-1	BG-2
37.5 mm	1 1/2"	100	-
25.0 mm	1"	70-100	100
19.0 mm	3/4"	60-90	70-100
9.5 mm	3/8"	45-75	50-80
4.75 mm	No.4	30-60	35-65
2.0 mm	No.10	20-45	20-45
425 µm	No.40	10-30	10-30
75 µm	No.200	5-15	5-15

Fuente: Comisión Asesora Permanente para el régimen del Ministerio de Transporte. "Normatividad Instituto Nacional de Vías INVIAS-07" 1ª edición. Bogotá 2007. Especificaciones Artículo 330, p. 10.

Como se puede observar al comparar la tabla 2 con la tabla 1, se concluye que el agregado pétreo es competente con las exigencias del Artículo 330-07, para Base Granular

<sup>3</sup> Comisión Asesora Permanente para el régimen del Ministerio de Transporte. "Normatividad Instituto Nacional de Vías INVIAS-07" 1ª edición. Bogotá 2007. Normas, INV E-213-07, p. 9.

**Tabla 2.** Análisis granulométrico del agregado pétreo para Base Granular.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
NORMAL	ALTERNO	BG-1
37.5 mm	1 1/2"	100
25.0 mm	1"	92
19.0 mm	3/4"	78
9.5 mm	3/8"	54
4.75 mm	No.4	38
2.0 mm	No.10	29
425 µm	No.40	19
75 µm	No.200	12

**Tabla 3.** Franjas granulométricas del material de Subbase Granular

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA	
NORMAL	ALTERNO	SBG-1	SBG-2
50.0 mm	2"	100	-
37.5 mm	1 1/2"	70-95	100
25.0 mm	1"	60-90	75-99
12.5 mm	1/2"	45-75	55-85
9.5 mm	3/8"	40-70	45-75
4.75 mm	No.4	25-55	30-60
2.0 mm	No.10	15-40	20-45
425 µm	No.40	6-25	8-30
75 µm	No.200	2-15	2-15

Fuente: Comisión Asesora Permanente para el régimen del Ministerio de Transporte. "Normatividad Instituto Nacional de Vías INVIAS-07" 1ª edición. Bogotá 2007. Especificaciones Artículo 320, p. 10.

**Tabla 4.** Análisis granulométrico del agregado pétreo para Subbase Granular.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
NORMAL	ALTERNO	SBG-1
50.0 mm	2"	100
37.5 mm	1 1/2"	89
25.0 mm	1"	77
12.5 mm	1/2"	62
9.5 mm	3/8"	55
4.75 mm	No.4	40
2.0 mm	No.10	26
425 µm	No.40	14
75 µm	No.200	7

Como se puede observar al comparar la tabla 4 con la tabla 3, se concluye que el agregado pétreo es competente con las exigencias del Artículo 330-07, para Subbase Granular.

## **4.2. DUREZA**

### **4.2.1. Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A) – Norma INV E 218**

Este ensayo se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada maquina con una carga abrasiva. Los resultados se pueden observar en la Tabla 5 para base granular y en la Tabla 6 para subbase granular.

**Tabla 5.** Abrasión en la máquina de los Ángeles del Agregado pétreo para Base Granular.

<b>Gradación Usada</b>	A
<b>No de Esferas</b>	12
<b>No de Revoluciones</b>	500
<b>Pa (muestra seca antes del ensayo)</b>	5 [Kg]
<b>Pb (peso muestra seca después del ensayo y después de lavar sobre tamiz No 12)</b>	3.7868 [Kg]
<b>Pa - Pb (perdida)</b>	1.2132 [Kg]
<b>% Desgaste <math>[(Pa-Pb)/Pa * 100]</math></b>	24.264 %
<b>Desgaste exigido por la norma menor e igual al 40 %</b>	

Como resultado se obtuvo un desgaste del 24.264 %, se concluye que el material granular está dentro de los límites de porcentaje de pérdida entre 10 y 40% especificados por la norma, lo cual se determina como un material apto para su uso<sup>4</sup>.

**Tabla 6.** Abrasión en la máquina de los Ángeles del Agregado pétreo para Subbase Granular

<b>Gradación Usada</b>	F
<b>No de Esferas</b>	12
<b>No de Revoluciones</b>	500
<b>Pa (muestra seca antes del ensayo)</b>	10 [Kg]
<b>Pb (peso muestra seca después del ensayo y después de lavar sobre tamiz No 12)</b>	7.447 [Kg]
<b>Pa - Pb (perdida)</b>	2.553 [Kg]
<b>% Desgaste <math>[(Pa-Pb)/Pa * 100]</math></b>	25.53 %
<b>Desgaste exigido por la norma menor e igual al 50 %</b>	

<sup>4</sup> Comisión Asesora Permanente para el régimen del Ministerio de Transporte. "Normatividad Instituto Nacional de Vías INVIAS-07" 1ª edición. Bogota 2007. Normas, INV E-218-07, p. 6.

Para la Subbase se obtuvo un desgaste de 25.53 %, se determina como un material apto para su uso como Subbase Granular.

### 4.3. DURABILIDAD

#### 4.3.1. Sulfato de Sodio -Norma INV E 220

Se realizó el ensayo de sanidad al agregado grueso y fino mediante el análisis cuantitativo, como lo exige la Norma INV E 220,

Los porcentajes de abrasión obtenidos no pueden ser superiores al 12 %<sup>5</sup>.

En la tabla 7 se encuentra los resultados obtenidos del agregado pétreo

**Tabla 7.** Sanidad en Sulfatos (análisis cuantitativo con 5 ciclos)

<b>SANIDAD DEL AGREGADO GRUESO</b>	
PORCENTAJE DE ABRASIÓN	1.96
<b>SANIDAD DEL AGREGADO FINO</b>	
PORCENTAJE DE ABRASIÓN	1.76

Los porcentajes de abrasión obtenidos son aproximadamente del 2 %, es decir que el agregado pétreo es resistente a la desintegración, por la acción de soluciones de sulfato de sodio.

### 4.4. LIMPIEZA

#### 4.4.1. Límite Líquido - Norma INV E 125

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico<sup>6</sup>.

---

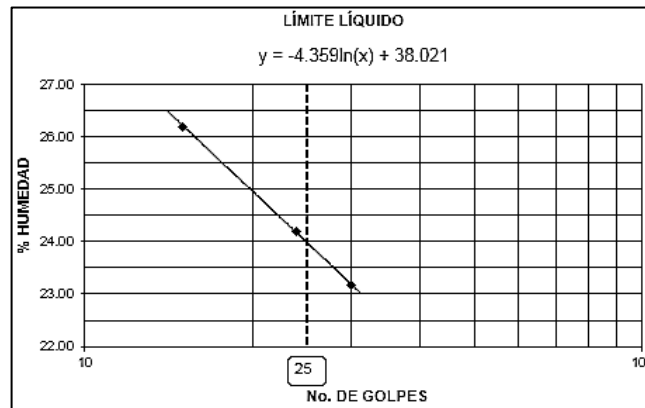
<sup>5</sup> Comisión Asesora Permanente para el régimen del Ministerio de Transporte. "Normatividad Instituto Nacional de Vías INVIAS-07" 1ª edición. Bogota 2007. Normas, INV E-220-07, p. 12.

En la Tabla 8 se observa los datos obtenidos del ensayo de límite líquido. Y la Figura 1 es el grafico de Porcentaje de Humedad vs Número de Golpes.

**Tabla 8.** Datos del ensayo de Límite líquido

<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>			
<b>No. GOLPES</b>	15	24	30
<b>CÁPSULA No.</b>	36	5	1
<b>PESO DE LA CÁPSULA</b>	17.63	18.02	18.60
<b>PESO CÁP. + SUELO HUMEDO</b>	64.06	61.22	63.10
<b>PESO CÁP. + SUELO SECO</b>	54.42	52.80	54.73
<b>PESO DE AGUA</b>	9.64	8.42	8.37
<b>% DE HUMEDAD</b>	26.20	24.21	23.17
<b>LÍMITE LÍQUIDO: 23.99 %</b>			

**Figura 1.** % Humedad vs No. de Golpe



El material granular ensayado arroja un límite líquido aproximadamente de 24%. La norma del Inviás exige un Límite líquido menor del 40% para construcción de Base y Subbase Granular, lo cual indica que está dentro de un material apto para su uso.

<sup>6</sup> Comisión Asesora Permanente para el régimen del Ministerio de Transporte. "Normatividad Instituto Nacional de Vías INVIAS-07" 1ª edición. Bogotá 2007. Normas, INV E-125-07, p. 13.

#### 4.4.2. Límite Plástico e Índice de Plasticidad de suelos – Norma INV E 126

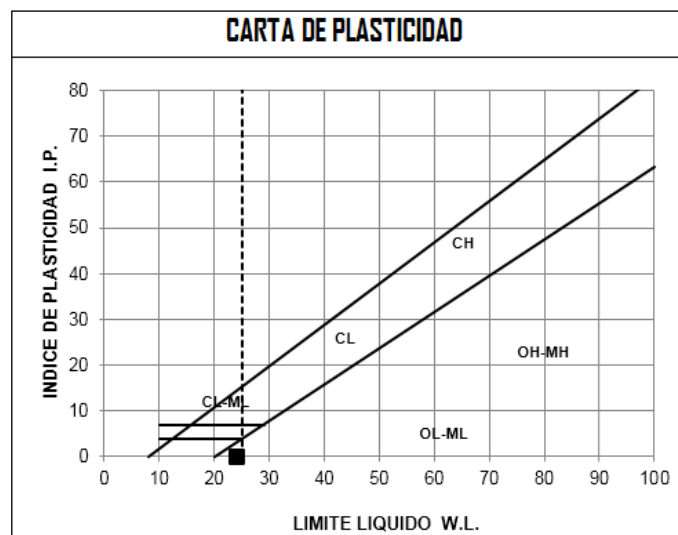
El límite plástico de un suelo es el contenido más bajo de agua , en el cual el suelo permanece en estado plástico.

En la Tabla 9 se observa los datos obtenidos del ensayo de límite Plástico. Y la Figura 2 es la carta de Plasticidad obtenida de este ensayo, indicando un tipo de suelo GP-GM (U.S.C) material grava mal graduada ligeramente limosa.

**Tabla 9.** Datos del ensayo de Límite Plástico

<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>		
<b>No DE ENSAYO</b>	1	2
<b>CÁPSULA No.</b>	2	4
<b>PESO DE LA CÁPSULA</b>	18.22	17.73
<b>PESO CÁP. + SUELO HUMEDO</b>	35.38	36.10
<b>PESO CÁP. + SUELO SECO</b>	32.10	32.51
<b>PESO DE AGUA</b>	3.28	3.59
<b>% DE HUMEDAD</b>	23.63	24.29
<b>LÍMITE PLÁSTICO: 23.96 %</b>		

**Figura 2.** Carta de Plasticidad



El índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico<sup>7</sup>. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo (Tabla 10).

**Tabla 10.** Resultado de los ensayos de: Límite Líquido y Límite Plástico para el calculo del Índice plástico

<b>RESULTADOS DEL ENSAYO:</b>	
<b>LÍMITE LÍQUIDO:</b>	23.99 %
<b>LÍMITE PLÁSTICO:</b>	23.96 %
<b>ÍNDICE PLÁSTICO:</b>	0.03 %

De este ensayo realizado al material granular se concluye que tiene un límite plástico de aproximadamente 24%, un Índice plástico de 0 % el cual cumple con las especificación para la construcción de una Base y Subbase Granular.

#### **4.4.3. Equivalente de Arena (%) – Norma INV E 133**

Este ensayo tiene como fin determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos<sup>8</sup>. En la tabla 11 se encuentra los datos del ensayo de Equivalente de Arena.

**Tabla 11.** Datos del ensayo de Equivalente de Arena para la Base Granular

<b>ENSAYO No.</b>	<b>Lectura de Arena (mm)</b>	<b>Lectura de Arcilla (mm)</b>	<b>Equivalente de Arena</b>
1	85	270	31
2	84	275	31
3	86	275	31
<b>Equivalente de Arena</b>	31.1%	<b>Condición</b>	Min 30%
	<b>Cumple:</b>	<b>SI</b>	

<sup>7</sup> Comisión Asesora Permanente para el régimen del Ministerio de Transporte. “Normatividad Instituto Nacional de Vías INVIAS-07” 1ª edición. Bogota 2007. Normas, INV E-126-07, p. 7.

<sup>8</sup> Comisión Asesora Permanente para el régimen del Ministerio de Transporte. “Normatividad Instituto Nacional de Vías INVIAS-07” 1ª edición. Bogota 2007. Normas, INV E-133-07, p.15.

Este ensayo arrojó un equivalente de arena de 32%, cumpliendo con la especificación que es un valor mayor al 30 %, lo cual demuestra que este material no presenta cambios volumétricos considerables en presencia de agua y que la muestra contiene poco material fino. Con este ensayo podemos concluir que el este apto para Base y Subbase Granular.

#### 4.5. GEOMETRÍA DE LAS PARTÍCULAS

##### 4.5.1. Índices de Alargamiento y Aplanamiento (%) – Norma INV E 230

**Tabla 12.** Resultados obtenidos del ensayo de índices de alargamiento y aplanamiento

<b>ÍNDICE DE ALARGAMIENTO</b>	
<b>TOTAL PARTÍCULAS ALARGADAS</b>	23.8%
<b>ESPECIFICACIÓN:</b>	35% Max
<b>CUMPLE</b>	<b>SI</b>

<b>ÍNDICE DE APLANAMIENTO</b>	
<b>TOTAL PARTÍCULAS APLANADAS</b>	24.1%
<b>ESPECIFICACIÓN</b>	35% Max
<b>CUMPLE</b>	<b>SI</b>

Los índices de alargamiento y aplanamiento indican la resistencia que tiene el agregado pétreo al ser sometido al movimiento de flujo vehicular. Los pavimentos deben tener porcentaje de valor menor a 35% en su geometría alargada y aplanada, como lo muestra este agregado pétreo con 24% para no causar daño a

la hora de compactar el agregado o aun después bajo la acción del tránsito, y así considerarse un material apto para su uso<sup>9</sup>.

#### **4.5.2. Porcentaje de Caras Fracturadas (una cara) – Norma INV E 227**

El propósito de este ensayo en el diseño de una estructura de pavimento, es incrementar la resistencia al corte incrementando la fricción entre partículas con un porcentaje mayor de 50% y dar estabilidad a los agregados usados en tratamientos superficiales proporcionando mayor fricción y textura para agregados usados en capas superficiales de pavimento<sup>10</sup>.

Con el 75.5% (Tabla 13) obtenido en caras fracturadas el agregado cumple con los requisitos de la norma y es un material apto para el uso de las vías.

**Tabla 13.** Resultados del ensayo de Caras Fracturadas (una cara)

<b>PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS</b>	
<b>PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS=</b>	75.5%
<b>ESPECIFICACIÓN:</b>	50% Min
<b>CUMPLE :</b>	<b>SI</b>

<sup>9</sup> Comisión Asesora Permanente para el régimen del Ministerio de Transporte. “Normatividad Instituto Nacional de Vías INVIAS-07” 1ª edición. Bogota 2007. Normas, INV E-230-07, p.12.

<sup>10</sup> Comisión Asesora Permanente para el régimen del Ministerio de Transporte. “Normatividad Instituto Nacional de Vías INVIAS-07” 1ª edición. Bogota 2007. Normas, INV E-227-07, p. 5.

## 4.6. RESISTENCIA DEL MATERIAL

### 4.6.1. Relación de soporte del suelo en el laboratorio CBR (%) – Norma INV E 148

Este método de prueba se emplea para evaluar la resistencia potencial del material de base, incluyendo materiales reciclados para empleo en pavimentos de carreteras<sup>11</sup>.

En la tabla 14 se presentan los datos obtenidos del ensayo de penetración necesarios para el cálculo del CBR.

**Tabla 14.** Datos del ensayo de penetración para CBR

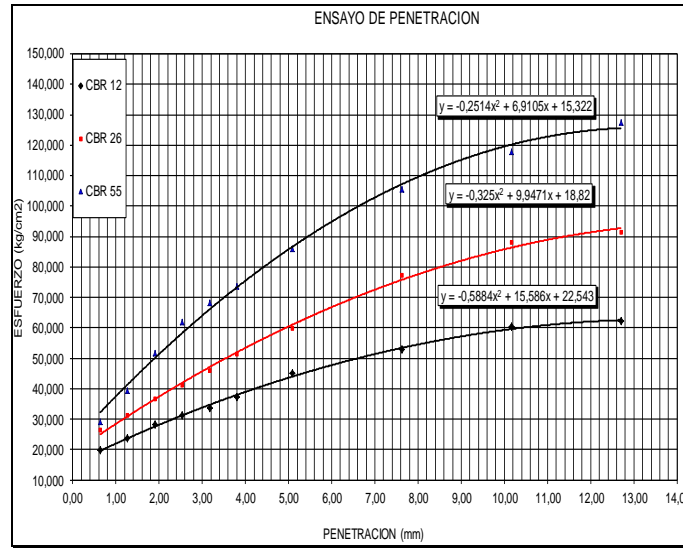
<b>Penetración (mm)</b>	<b>CBR 12 Esfuerzo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>CBR 26 Esfuerzo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>CBR 56 Esfuerzo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
0.63	19.69	26.30	29.19
1.27	23.77	31.31	39.42
1.90	28.21	36.68	51.77
2.54	31.21	41.08	61.90
3.17	33.64	45.83	68.10
3.81	37.20	51.51	73.63
5.08	45.16	59.83	85.92
7.62	52.86	77.35	105.61
10.16	60.30	87.94	117.70
12.70	62.21	91.45	127.51

Fuente: Autores.

En la Figura 3 se graficó los datos de la Tabla 14 los cuales representan el esfuerzo vs la penetración de cada molde (12 golpes, 26 golpes y 56 golpes)

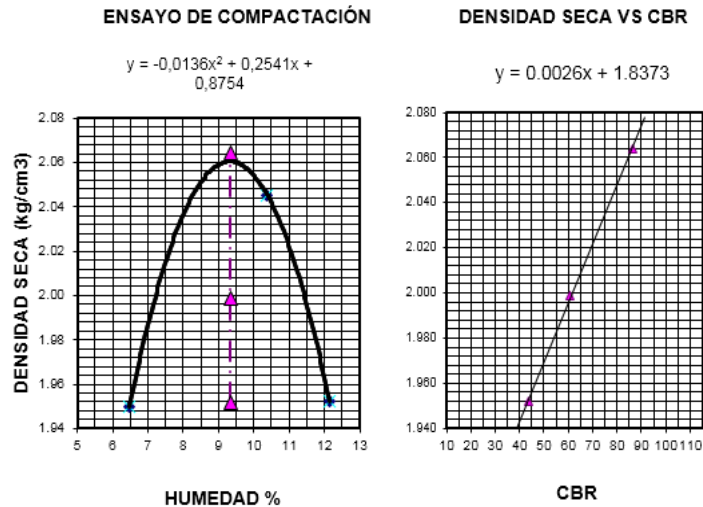
<sup>11</sup> Comisión Asesora Permanente para el régimen del Ministerio de Transporte. “Normatividad Instituto Nacional de Vías INVIAS-07” 1ª edición. Bogota 2007. Normas, INV E-148-07, p. 15.

**Figura 3.** Gráfica esfuerzo vs Penetración respecto a los datos de la tabla 14



De los datos de laboratorio se grafica la Densidad Seca vs Humedad y Densidad seca vs CBR (Figura 4). Y de estas gráficas obtenemos los Resultados del ensayo resumidos en la Tabla 15, concluyendo que el Agregado Pétreo es resistente para uso como Base granular.

**Figura 4.** (a) Gráfica Densidad Seca vs Humedad, (b) Gráfica Densidad Seca vs CBR



**Tabla 15.** Resultados ensayo de CBR

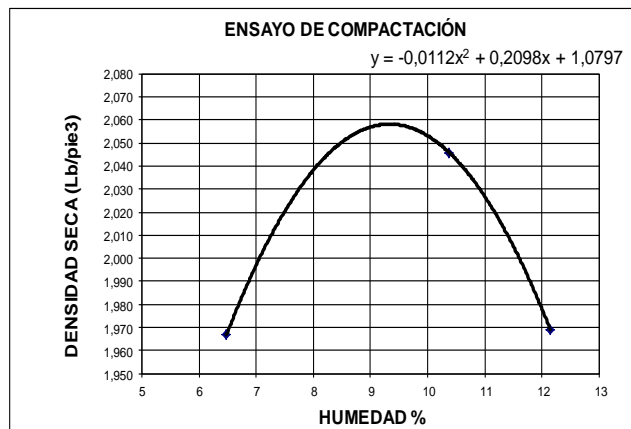
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO:</b>	
<b>Humedad óptima: %</b>	9.34
<b>Densidad seca Máx.(g/cm3)</b>	2.06
<b>CBR (%)</b>	86.54
<b>Especificación CBR &gt; 80 %</b>	
<b>“CUMPLE”</b>	

#### 4.7. OTROS LABORATORIOS REALIZADOS AL AGREGADO PÉTREO

##### 4.7.1. Ensayo modificado de compactación – Norma INV E 142

El objetivo de este ensayo es determinar la relación entre la humedad y la masa unitaria de los suelos compactados. El índice que se obtiene se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de las capas de Base y Subbase Granular<sup>12</sup>.

**Figura 5.** Ensayo de Compactación (Gráfica Densidad Seca vs Humedad)



<sup>12</sup> Comisión Asesora Permanente para el régimen del Ministerio de Transporte. “Normatividad Instituto Nacional de Vías INVIAS-07” 1ª edición. Bogota 2007. Normas, INV E-142-07, p. 12.

**Tabla 16.** Resultados del Ensayo de Compactación

<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>	
<b>% Humedad óptima</b>	9.37
<b>Densidad seca Máx (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.062

**4.7.2. Peso unitario del suelo en el terreno - método del cono y arena- Norma INV E 161**

Este método de ensayo se usa para determinar, en el sitio, la densidad o la masa unitaria de los suelos con el equipo de cono de arena<sup>13</sup>.

Este ensayo se realizó en el tramo experimental mencionado al inicio de este capítulo. Los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Resultado de ensayo de cono y arena

<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>	
<b>Densidad media (Dm)</b>	2.05
<b>Número de ensayos (n)</b>	5
<b>Constante que determina el límite inferior del intervalo de confianza (K)</b>	0.685
<b>Desviación estándar de la muestra (S)</b>	0.07
<b>Dm-(KxS)</b>	2.00
<b>0,95De</b>	1.96
<b>CUMPLE</b>	SI

<sup>13</sup> Comisión Asesora Permanente para el régimen del Ministerio de Transporte. “Normatividad Instituto Nacional de Vías INVIAS-07” 1ª edición. Bogotá 2007. Normas, INV E-161-07, p. 13.

## 5. ANÁLISIS AGREGADO NATURAL

### 5.1. AGREGADO NATURAL PARA BASE GRANULAR

En la tabla 18 se encuentran los resultados del ensayo de granulometría del agregado natural para Base Granular.

**Tabla 18.** Análisis granulométrico del agregado Natural para Base Granular

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
NORMAL	ALTERNO	BG-1
37.5 mm	1 1/2"	100
25.0 mm	1"	86
19.0 mm	3/4"	75
9.5 mm	3/8"	59
4.75 mm	No.4	44
2.0 mm	No.10	29
425 µm	No.40	15
75 µm	No.200	7

Un objetivo de este proyecto es comparar ante igualdad de condiciones, las propiedades mecánicas del agregado natural con el agregado pétreo reciclado, esto se concluye en la Tabla 19, la cual muestra los resultados de los ensayos exigidos por la norma del INVIAS.

**Tabla 19.** Resultados de los ensayos para Base Granular del Agregado Natural y Agregado Reciclado con las exigencias de la norma del Invias

<b>Ensayo</b>	<b>Agregado pétreo reciclado</b>	<b>Agregado natural</b>	<b>Norma</b>
<b>Composición</b>			
Granulometría	Tabla 2	Tabla 15	Tabla1
<b>Dureza</b>			
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A)	24.264	27.84	≤40
<b>Durabilidad</b>			
Sulfato de Sodio	2	5.5	≤12
<b>Limpieza</b>			
Límite líquido	23.99	25.03	X
Límite Plástico e Índice de Plasticidad de suelos	0	0	0
Equivalente de Arena	32	32	≥30
<b>Geometría de las Partículas</b>			
Índices de Alargamiento y Aplanamiento	24	27	≤35
Porcentaje de Caras Fracturadas (una cara)	75.5	77	≥50
<b>Resistencia del material</b>			
Relación de soporte del suelo en el laboratorio CBR (%)	87	110	≥80

## 5.2. Agregado Natural para Subbase Granular

En la tabla 20 se encuentran los resultados del ensayo de granulometría del agregado natural para Subbase Granular.

**Tabla 20.** Análisis granulométrico del agregado Natural para Subbase Granular

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
NORMAL	ALTERNO	SBG-1
50.0 mm	2"	100
37.5 mm	1 1/2"	89
25.0 mm	1"	77
12.5 mm	1/2"	60
9.5 mm	3/8"	53
4.75 mm	No.4	38
2.0 mm	No.10	23
425 µm	No.40	12
75 µm	No.200	6

La Tabla 21, muestra los resultados de los ensayos exigidos por la norma del INVIAS para Subbase Granular.

**Tabla 21.** Resultados de los ensayos para Subbase Granular del Agregado Natural y Agregado Pétreo con las exigencias de la norma del Invias

<b>Ensayo</b>	<b>Agregado pétreo reciclado</b>	<b>Agregado natural</b>	<b>Norma</b>
<b>Composición</b>			
Granulometría	Tabla 4	Tabla 20	Tabla 3
<b>Dureza</b>			
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación F)	25.53	26.49	≤ 50
<b>Durabilidad</b>			
Sulfato de Sodio	2	5.5	≤12
<b>Limpieza</b>			
Límite líquido	23.99	28.34	<40
Límite Plástico e Índice de Plasticidad de suelos	0	0	0
Equivalente de Arena	33	32	≥25
<b>Resistencia del material</b>			
CBR (%)	55	57	≥30

## 6. RECICLAJE DE CONCRETO

Un objetivo de este proyecto es promover una percepción positiva sobre el potencial de reciclaje, dirigido a personas y organizaciones interesadas, incluyendo autoridades de gobiernos locales, reguladores de reciclaje y disposición de desechos en vertederos, asociaciones de cemento y concreto, organizaciones medio ambientales, ingenieros de construcción, profesionales en construcción verde y organizaciones no gubernamentales.

Este proyecto proporciona una pequeña perspectiva para el uso del reciclaje de concreto y promueve la optimización del reciclaje de concreto dentro de una estrategia integral de desarrollo sostenible.

El concreto presenta propiedades únicas y su recuperación suele ubicarse en medio de las definiciones estándar de reutilización y reciclaje: no es frecuente que el concreto pueda ser “reutilizado” en el sentido en que sea reutilizado en su forma original. Tampoco puede ser “reciclado” de regreso a sus componentes originales, en su lugar, el concreto puede ser fragmentado en bloques más pequeños o agregado para darle nueva vida.

El reciclaje de concreto es una industria bien establecida ya en muchos países. La mayoría del concreto puede ser triturado y reutilizado como agregado, con tecnología existente para el reciclaje por medio de la trituración mecánica ya disponible<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> Iniciativa por la sostenibilidad del cemento, Reciclando Concreto: [http://ficem.org/publicaciones-CSI/DOCUMENTO-CSI-RECICLAJE-DEL-CONCRETO/RECICLAJE-D-CONCRETO\\_1.pdf](http://ficem.org/publicaciones-CSI/DOCUMENTO-CSI-RECICLAJE-DEL-CONCRETO/RECICLAJE-D-CONCRETO_1.pdf) [citado 03 de Febrero de 2014]

Algunos importantes beneficios del concreto reciclado incluyen:

- Reducción de desechos en vertederos de basura y degradación asociada de la tierra.
- Sustitución de recursos vírgenes y reducción de los costos ambientales asociados a la explotación de recursos naturales.
- Reducción de los costos de transporte: a menudo, el concreto puede ser reciclado en los sitios de construcción y demolición, o cerca a las áreas urbanas donde será reutilizado.
- Reducción del pago de tarifas e impuestos asociados al vertimiento de desechos.
- Buen desempeño en algunas aplicaciones debido a su buena compactación y propiedades de densidad (por ejemplo, como base vial).
- En algunos casos, generación de empleos en la industria del reciclaje de concreto que de otro modo no existirían en otros sectores.

## 7. CONCLUSIONES

El reciclar desechos de concreto presenta ventajas importantes como lo son la reducción de utilización de agregados naturales y los costos ambientales de explotación y transporte, también reduce el desecho innecesario de materiales valiosos que pueden ser recuperados y reutilizados con una buena calidad obtenida de un adecuado procesamiento técnico de trituración para ser utilizado como agregado pétreo.

El agregado pétreo producto del reciclado del concreto presenta resultados de gran calidad, comparables con los agregados naturales y sus posibilidades de uso son equiparables funcionando como componente principal en la construcción de Base o Subbase Granular de pavimento flexible o rígido, cumpliendo con las exigencias de la norma INVIAS.

Al igual que el agregado natural, el agregado pétreo permite su uso como componente principal en la construcción de Base o Subbase Granular de pavimento flexible o rígido, brindando propiedades mecánicas exigidas por el INVIAS como: composición, dureza, durabilidad, limpieza, geometría de partículas y resistencia del material propias para la construcción de Base o Subbase Granular en un Nivel de Transito 2 el cual corresponde a vías en la que el tránsito de diseño de las obras por construir oscila entre  $0.5 \times 10^6$  y  $5.0 \times 10^6$  ejes equivalentes de 80 KN en el carril de diseño.

Este proyecto contribuye a la generación de un desarrollo sostenible, aumentando la productividad, aprovechando al máximo, el tejido empresarial y laboral de la región, que empleara los recursos disponibles en la zona, con la mayor economía de consumo, con el menor volumen de residuos y con la mayor parte de reciclaje

que se logre conseguir y además debemos lograr, que ese desarrollo conseguido, sea persistente en el tiempo.

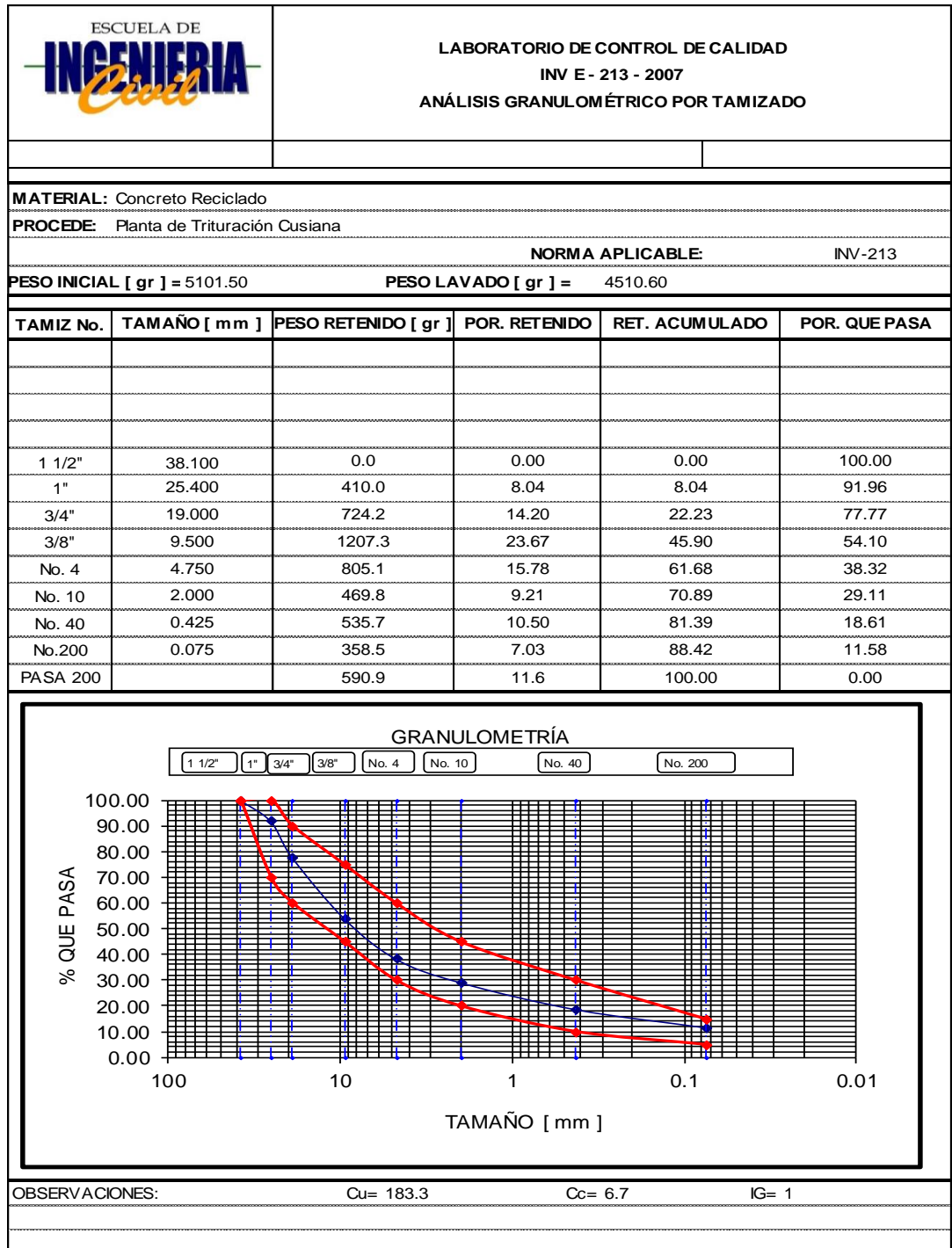
En el contexto de un análisis del ciclo de vida, el uso de concreto recuperado puede disminuir el impacto ambiental en general. No utilizar materiales recuperados incrementa los costos ambientales y de salubridad asociados a una mayor generación de desperdicios. No aprovechar materiales recuperados implica el uso de materiales naturales en su lugar, conllevando a la explotación de canteras. En algunos casos, la necesidad de transporte del concreto reciclado es inferior a la de materiales naturales (que por lo regular están alejados de áreas de desarrollo urbano) reduciendo así el consumo de combustibles, la emisión de CO<sub>2</sub> y el uso de vías y vehículos.

## BIBLIOGRAFÍA

- BETTINI, Virginio. Elementos de ecología urbana. Editorial Madrid, Trotta S.A. 1998.
- CEPAL. Desafíos e innovaciones en la gestión ambiental latinoamericana. En seminario Experiencia latinoamericana en manejo ambiental. Santiago de Chile, 2000.
- CORRO, Santiago y PRADO, Guillermo. Diseño estructural de carreteras con pavimento flexibles. Editorial UNAM.
- MINISTERIO DE TRANSPORTE. Artículo 320-07 (Subbase Granular) y Artículo 330-07 (Base Granular). En: Instituto Nacional de Vías.
- RONDÓN QUINTANA, Hugo Alexander y REYES LIZCANO, Fredy Alberto. Metodologías de diseño de pavimentos flexibles: tendencias, alcances y limitaciones. En: Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 17-2, pp. 41-65. Bogotá, Diciembre de 2007. ISSN 0124-8170.
- SALAZAR, Alejandro. Diseño de materiales con residuos sólidos industriales, Medellín. Cátedra viajera CORONA, 1998.


## ANEXOS

### Anexo 1. Análisis Granulométrico para el Agregado Pétreo en Base Granular.




FUENTE: Autores.

**Anexo 2.** Abrasión de Agregados en la Máquina de los Ángeles para el Agregado Pétreo en Base Granular.

		<b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b> <b>INV E - 218 - 219 - 2007</b> <b>ABRASIÓN DE AGREGADOS EN LA MÁQUINA DE LOS ANGELES</b>						
<b>PROYECTO:</b> Reciclaje de desechos de concreto para ser utilizados como agregado pétreo en la construcción de base o subbase de una vía con pavimento flexible o rígido.								
<b>MATERIAL:</b> BASE GRANULAR								
<b>DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES</b>								
<b>TAMAÑO DEL AGREGADO</b>		<b>PESO Y GRADACIÓN DE LA MUESTRA</b>						
<b>PASA TAMIZ</b>	<b>RETENIDO TAMIZ</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	3"			2500				
3"	4"			2500				
4"	8"				5000			
<b>Numero de Esferas</b>		12	11	8	6	12	12	12
<b>DATOS DE LA PRUEBA</b>								
<b>Gradación Usada</b>					A			
<b>No de Esferas</b>					12			
<b>No de Revoluciones</b>					500			
<b>Pa (muestra seca antes del ensayo)</b>					5 [ Kg]			
<b>Pb (peso muestra seca despues del ensayo y despues de lavar sobre tamiz No 12)</b>					3.787 [Kg]			
<b>Pa - Pb (perdida)</b>					1.213 [Kg]			
<b>% Desgaste <math>[Pa-Pb]/Pa * 100</math></b>					24.264 %			


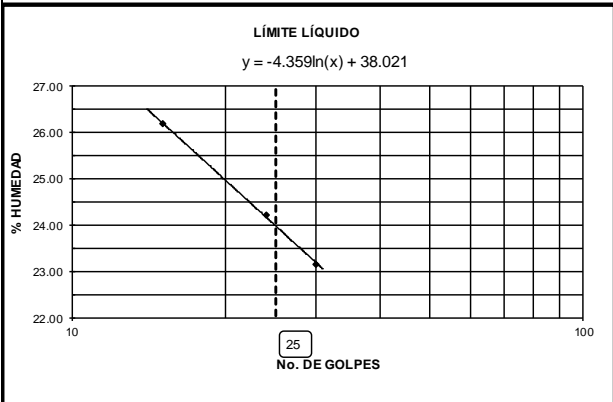
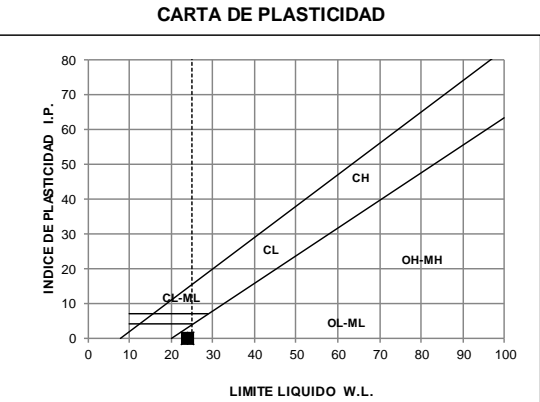
FUENTE: Autores.

### Anexo 3. Sanidad en Sulfatos para el Agregado Pétreo en Base Granular.

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>SANIDAD EN SULFATOS</b> INV-E-220 - 2007						
PROYECTO: Reciclaje de desechos de concreto para ser utilizados como agregado pétreo en la construcción de base o subbase de una vía con pavimento flexible o rígido.								
MATERIAL:								
SOLUCIÓN EMPLEADA: Sulfato de sodio				NUMERO DE CICLOS: 5				
<b>SANIDAD DEL AGREGADO GRUESO (ANÁLISIS CUANTITATIVO)</b>								
TAMAÑO DEL AGREGADO		GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PESO DE LA FRACCIÓN ENSAYADA (g)	No. DE PARTÍCULAS	PESO RETENIDO DESPUES DEL ENSAYO (g)	PERDIDA TOTAL (%)	PERDIDA CORREGIDA (g)	PARTICULAS AFECTADAS
PASA	RETENIDO							
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"	8,04	1022,5		957,3	6,4	0,51	
1"	3/4"	14,20	515,5		504,3	2,2	0,31	
3/4"	1/2"	14,23	706,9		676,7	4,3	0,61	
1/2"	3/8"	9,44	338,9		322,1	5,0	0,47	
3/8"	No. 4	15,78	302,8		301,6	0,4	0,06	
<b>TOTALES=</b>						18,17	1,96	
ESPECIFICACION: 10% Max		PORCENTAJE DE ABRASIÓN =		1,96%		CUMPLE:		SI
<b>SANIDAD DEL AGREGADO FINO (ANÁLISIS CUANTITATIVO)</b>								
TAMAÑO DEL AGREGADO		GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PESO DE LA FRACCIÓN ENSAYADA (g)	PESO RETENIDO DESPUES DE ENSAYO (g)	PERDIDA TOTAL (%)	PERDIDA CORREGIDA (%)		
PASA	RETENIDO							
No. 4	No. 8	3,00	103,7	98,1	5,40	0,16		
No. 8	No. 16	3,00	104,5	96,3	7,85	0,24		
No. 16	No. 30	8,00	103,5	96,2	7,05	0,56		
No. 30	No. 50	14,00	104,0	99,8	4,04	0,57		
No. 50	No.100	4,00	105,2	98,4	6,46	0,26		
<b>TOTALES=</b>		32,00			30,80	1,79		
ESPECIFICACION: 10 MAX		PORCENTAJE DE ABRASIÓN =		1,8%		CUMPLE:		SI

FUENTE: Autores.


### Anexo 4. Límite Líquido - Límite Plástico - Índice de Plasticidad para el Agregado Pétreo en Base Granular.

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO</b> <b>INV. E - 125 - 126 - 2007</b>	
<b>PROYECTO:</b> Reciclaje de desechos de concreto para ser utilizados como agregado pétreo en la construcción de base o subbase de una vía con pavimento flexible o rígido.			
<b>MATERIAL:</b> Base Granular			
<b>PROCEDE:</b> Tomado del tramo experimental			
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>			
<b>No. GOLPES</b>	15	24	30
<b>CÁPSULA No.</b>	36	5	1
<b>PESO DE LA CÁPSULA</b>	17.63	18.02	18.60
<b>PESO CÁP. + SUELO HUMEDO</b>	64.06	61.22	63.10
<b>PESO CÁP. + SUELO SECO</b>	54.42	52.80	54.73
<b>PESO DE AGUA</b>	9.64	8.42	8.37
<b>% DE HUMEDAD</b>	26.20	24.21	23.17
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>			
<b>No de ensayos</b>	1	2	
<b>CÁPSULA No.</b>	2	4	
<b>PESO DE LA CÁPSULA</b>	18.22	17.73	
<b>PESO CÁP. + SUELO HUMEDO</b>	35.38	36.10	
<b>PESO CÁP. + SUELO SECO</b>	32.10	32.51	
<b>PESO DE AGUA</b>	3.28	3.59	
<b>% DE HUMEDAD</b>	23.63	24.29	
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b> $y = -4.359 \ln(x) + 38.021$		<b>CARTA DE PLASTICIDAD</b>	
			
<b>LÍMITE LÍQUIDO:</b>	23.99 %	<b>LÍMITE PLÁSTICO:</b>	23.96 %
<b>CLASIFICACIÓN:</b>		<b>ÍNDICE PLÁSTICO:</b> 0.03 %	
		<b>U.S.C. = GP-GM</b>	

FUENTE: Autores.




**Anexo 6. Índices de Alargamiento y Aplanamiento para el Agregado Pétreo en Base Granular.**

		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD INV E - 230 - 2007 INDICES DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO				
<b>PROYECTO:</b> Reciclaje de desechos de concreto para ser utilizados como agregado pétreo en la construcción de base o subbase de una vía con pavimento flexible o rígido.						
<b>MATERIAL:</b> Base Granular <b>PROCEDENCIA:</b> Triturado de Cusiana						
INDICE DE ALARGAMIENTO						
TAMAÑO DEL AGREGADO		1.	2.	3.	4.	5.
PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ	PESO INICIAL	PARTÍCULAS ALARGADAS	3 = 100*2/1	GRADACIÓN ORIGINAL	5 = 3*4
2 1/2"	2"					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"	410.00	154.80	37.76	8.04	304
1"	3/4"	724.20	183.20	25.30	14.20	359
3/4"	1/2"	725.70	138.50	19.09	14.23	272
1/2"	3/8"	481.60	126.50	26.27	9.44	248
3/8"	1/4"	606.30	97.40	16.06	11.88	191
					<b>58</b>	<b>1373</b>
1. Peso inicial de la fracción						
2. Peso de las partículas retenidas entre las barras						
3. Índice de alargamiento de la fracción						
4. Porcentajes retenidos gradación original						
TOTAL PARTÍCULAS ALARGADAS = 24%						
ESPECIFICACIÓN: 35% Max CUMPLE: SI						
INDICE DE APLANAMIENTO						
TAMAÑO DEL AGREGADO		1.	2.	3.	4.	5.
PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ	PESO INICIAL	PARTÍCULAS APLANADAS	3 = 100*2/1	GRADACIÓN ORIGINAL	5 = 3*4
2 1/2"	2"					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"	410.00	157.60	38.44	8.04	309
1"	3/4"	724.20	192.20	26.54	14.20	377
3/4"	1/2"	725.70	138.50	19.09	14.23	272
1/2"	3/8"	481.60	121.60	25.25	9.44	238
3/8"	1/4"	606.30	101.20	16.69	11.88	198
<b>TOTAL=</b>					<b>58</b>	<b>1394</b>
1. Peso inicial de la fracción						
2. Peso de las partículas que pasan a través de las ranuras						
3. Índice de aplanamiento de la fracción						
4. Porcentajes retenidos gradación original						
TOTAL PARTÍCULAS APLANADAS = 24%						
ESPECIFICACIÓN: 35% Max CUMPLE: SI						


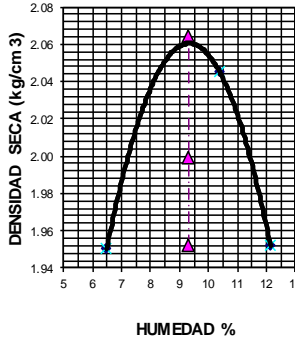
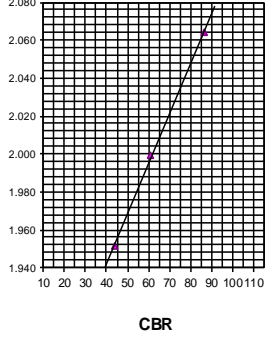
FUENTE: Autores.

**Anexo 7. Ensayo de Porcentaje de Caras Fracturadas para el Agregado Pétreo en Base Granular.**

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> INV E - 227 - 2007 <b>ENSAYO DE PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS</b>				
Reciclaje de desechos de concreto para ser utilizados como agregado pétreo en la construcción de base o subbase de una vía con pavimento flexible o rígido.						
<b>PROYECTO:</b>						
<b>MATERIAL:</b> BASE GRANULAR		<b>PROCEDENCIA:</b> Planta de Trituración Cusiana				
<b>PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS</b>						
<b>TAMAÑO DEL AGREGADO</b>		<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>5.</b>
<b>PASA TAMIZ</b>	<b>RETENIDO TAMIZ</b>	<b>PESO MUESTRA</b>	<b>PARTÍCULAS FRACTURADAS</b>	<b>3 = 2*100/1</b>	<b>GRADACIÓN ORIGINAL</b>	<b>5 = 3*4</b>
2 1/2"	2"					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"	410.00	320.20	78.10	8.04	628
1"	3/4"	724.20	552.80	76.33	14.20	1084
3/4"	1/2"	725.70	570.60	78.63	14.23	1119
1/2"	3/8"	481.60	351.7	73.03	9.44	689
3/8"	1/4"	606.30	430.50	71.00	11.88	844
<b>TOTAL=</b>					<b>58</b>	<b>4364</b>
<b>1. Peso de la muestra</b>						
<b>2. Peso del material con caras fracturadas</b>						
<b>3. Porcentaje de caras fracturadas</b>						
<b>4. Porcentaje retenido gradación original</b>						
<b>5. Ponderado de caras fracturadas</b>						
<b>PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS=</b>		<b>75.5%</b>				
<b>ESPECIFICACIÓN:</b>	<b>50% Min</b>	<b>CUMPLE:</b>	<b>SI</b>			
<b>OBSERVACIONES:</b>						
Este ensayo se realizo teniendo en cuenta mínimo 1 caras						


FUENTE: Autores.

**Anexo 8. Ensayo de CBR de laboratorio método I para el Agregado Pétreo en Base Granular (primera parte).**

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> INV E- 148 - 2007 <b>ENSAYO CBR DE LABORATORIO METODO I</b>																
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>																	
<b>PROYECTO:</b> Reciclaje de desechos de concreto para ser utilizados como agregado pétreo en la construcción de base o subbase de una vía con pavimento flexible o rígido.																	
<b>MATERIAL:</b> BASE GRANULAR <span style="float: right;"><b>PROCEDENCIA:</b> Tramo Experimental</span>																	
<b>ENSAYO REALIZADO:</b> CBR MÉTODO I																	
<b>ENSAYO DE COMPACTACION</b>																	
	<b>MUESTRAS PARA CBR</b>																
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 33%;">12 GOLPES</th> <th style="width: 33%;">26 GOLPES</th> <th style="width: 33%;">55 GOLPES</th> </tr> </table>	12 GOLPES	26 GOLPES	55 GOLPES													
12 GOLPES	26 GOLPES	55 GOLPES															
<b>MOLDE No.</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">1</td> <td style="width: 33%;">1</td> <td style="width: 33%;">1</td> <td style="width: 33%;">1</td> <td style="width: 33%;">2</td> <td style="width: 33%;">3</td> </tr> </table>	1	1	1	1	2	3										
1	1	1	1	2	3												
<b>PESO MOLDE MAS MUESTRA COMPACTA</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">7510</td> <td style="width: 33%;">7895</td> <td style="width: 33%;">7750</td> <td style="width: 33%;">9005</td> <td style="width: 33%;">8785</td> <td style="width: 33%;">9425</td> </tr> </table>	7510	7895	7750	9005	8785	9425										
7510	7895	7750	9005	8785	9425												
<b>PESO MOLDE</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">3102</td> <td style="width: 33%;">3102</td> <td style="width: 33%;">3102</td> <td style="width: 33%;">4570</td> <td style="width: 33%;">4243</td> <td style="width: 33%;">4735</td> </tr> </table>	3102	3102	3102	4570	4243	4735										
3102	3102	3102	4570	4243	4735												
<b>PESO MUESTRA COMPACTA (g)</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">4408</td> <td style="width: 33%;">4793</td> <td style="width: 33%;">4648</td> <td style="width: 33%;">4435</td> <td style="width: 33%;">4542</td> <td style="width: 33%;">4690</td> </tr> </table>	4408	4793	4648	4435	4542	4690										
4408	4793	4648	4435	4542	4690												
<b>VOLUMEN MUESTRA COMPACTA (cm<sup>3</sup>)</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">2123</td> <td style="width: 33%;">2123</td> <td style="width: 33%;">2123</td> <td style="width: 33%;">2134</td> <td style="width: 33%;">2134</td> <td style="width: 33%;">2134</td> </tr> </table>	2123	2123	2123	2134	2134	2134										
2123	2123	2123	2134	2134	2134												
<b>DENSIDAD HÚMEDA (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">2.08</td> <td style="width: 33%;">2.26</td> <td style="width: 33%;">2.19</td> <td style="width: 33%;">2.08</td> <td style="width: 33%;">2.13</td> <td style="width: 33%;">2.20</td> </tr> </table>	2.08	2.26	2.19	2.08	2.13	2.20										
2.08	2.26	2.19	2.08	2.13	2.20												
<b>% HUMEDAD</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">6.48</td> <td style="width: 33%;">10.38</td> <td style="width: 33%;">12.14</td> <td style="width: 33%;">6.46</td> <td style="width: 33%;">6.46</td> <td style="width: 33%;">6.46</td> </tr> </table>	6.48	10.38	12.14	6.46	6.46	6.46										
6.48	10.38	12.14	6.46	6.46	6.46												
<b>DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">1.95</td> <td style="width: 33%;">2.045</td> <td style="width: 33%;">1.95</td> <td style="width: 33%;">1.952</td> <td style="width: 33%;">1.999</td> <td style="width: 33%;">2.064</td> </tr> </table>	1.95	2.045	1.95	1.952	1.999	2.064										
1.95	2.045	1.95	1.952	1.999	2.064												
	<b>HUMEDAD PENETRACION</b>																
<b>CÁPSULA No.</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">8</td> <td style="width: 33%;">2</td> <td style="width: 33%;">44</td> <td style="width: 33%;">44</td> <td style="width: 33%;">2</td> <td style="width: 33%;">8</td> </tr> </table>	8	2	44	44	2	8										
8	2	44	44	2	8												
<b>PESO CÁPSULA MAS SUELO HÚMEDO (g)</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">762.40</td> <td style="width: 33%;">997.80</td> <td style="width: 33%;">838.20</td> <td style="width: 33%;">788.20</td> <td style="width: 33%;">771.00</td> <td style="width: 33%;">716.00</td> </tr> </table>	762.40	997.80	838.20	788.20	771.00	716.00										
762.40	997.80	838.20	788.20	771.00	716.00												
<b>PESO CÁPSULA MAS SUELO SECO (g)</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">720.00</td> <td style="width: 33%;">911.40</td> <td style="width: 33%;">754.60</td> <td style="width: 33%;">726.40</td> <td style="width: 33%;">711.40</td> <td style="width: 33%;">660.60</td> </tr> </table>	720.00	911.40	754.60	726.40	711.40	660.60										
720.00	911.40	754.60	726.40	711.40	660.60												
<b>PESO CÁPSULA (g)</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">65.50</td> <td style="width: 33%;">79.00</td> <td style="width: 33%;">66.20</td> <td style="width: 33%;">66.20</td> <td style="width: 33%;">79.00</td> <td style="width: 33%;">65.50</td> </tr> </table>	65.50	79.00	66.20	66.20	79.00	65.50										
65.50	79.00	66.20	66.20	79.00	65.50												
<b>% HUMEDAD</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">6.48</td> <td style="width: 33%;">10.38</td> <td style="width: 33%;">12.14</td> <td style="width: 33%;">9.36</td> <td style="width: 33%;">9.42</td> <td style="width: 33%;">9.31</td> </tr> </table>	6.48	10.38	12.14	9.36	9.42	9.31										
6.48	10.38	12.14	9.36	9.42	9.31												
<b>HUMEDAD MATERIAL EN EL CBR:</b>	9.34																
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b></p> <math display="block">y = -0,0136x^2 + 0,2541x + 0,8754</math>  <p><b>DENSIDAD SECA (kg/cm<sup>3</sup>)</b></p> <p><b>HUMEDAD %</b></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>DENSIDAD SECA VSCBR</b></p> <math display="block">y = 0.0026x + 1.8373</math>  <p><b>DENSIDAD SECA (kg/cm<sup>3</sup>)</b></p> <p><b>CBR</b></p> </div> </div>	<p><b>CLASIFICACIÓN SUELO:</b></p> <p>Sistema USC: <span style="float: right;">GP-GM</span></p> <hr/> <p><b>RESULTADOS DEL ENSAYO:</b></p> <p>Humedad óptima: % <span style="float: right;">9.34</span></p> <p>Densidad seca Máx: (g/cm<sup>3</sup>) <span style="float: right;">2.062</span></p> <p>CBR (%) <span style="float: right;">86.535</span></p> <hr/> <p><b>EXPANSIÓN:</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Número de golpes por capa:</td> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>12 gol.</b></td> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>26 gol.</b></td> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>55 gol.</b></td> </tr> <tr> <td>Lectura inicial (mm).</td> <td style="text-align: center;">6.50</td> <td style="text-align: center;">5.50</td> <td style="text-align: center;">6.92</td> </tr> <tr> <td>Lectura final (mm).</td> <td style="text-align: center;">6.66</td> <td style="text-align: center;">5.63</td> <td style="text-align: center;">6.98</td> </tr> <tr> <td>Total expansión (mm).</td> <td style="text-align: center;">0.16</td> <td style="text-align: center;">0.13</td> <td style="text-align: center;">0.06</td> </tr> </table> <p>CUMPLE: SI</p>	Número de golpes por capa:	<b>12 gol.</b>	<b>26 gol.</b>	<b>55 gol.</b>	Lectura inicial (mm).	6.50	5.50	6.92	Lectura final (mm).	6.66	5.63	6.98	Total expansión (mm).	0.16	0.13	0.06
Número de golpes por capa:	<b>12 gol.</b>	<b>26 gol.</b>	<b>55 gol.</b>														
Lectura inicial (mm).	6.50	5.50	6.92														
Lectura final (mm).	6.66	5.63	6.98														
Total expansión (mm).	0.16	0.13	0.06														

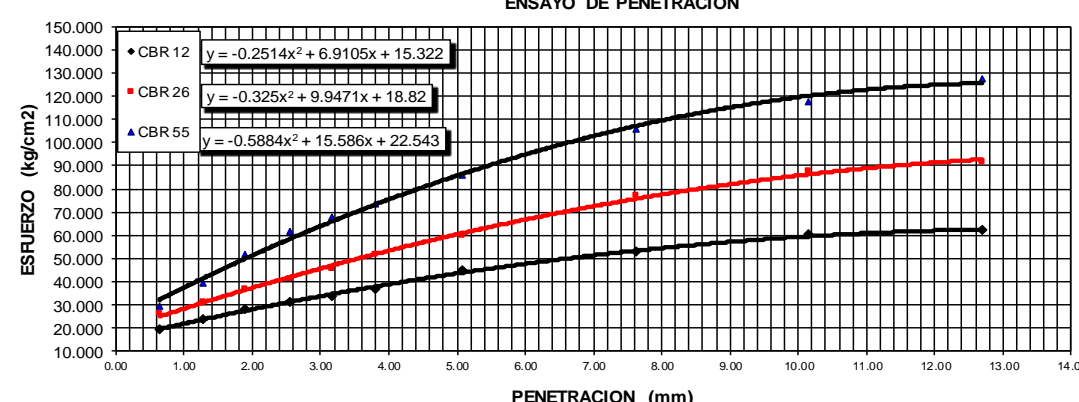
FUENTE: Autores.

**Anexo 9. Ensayo de CBR de laboratorio método I para el Agregado Pétreo en Base Granular (segunda parte).**

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> INV. E- 148 - 2007 RELACION ESFUERZO DEFORMACION EN EL ENSAYO DE CBR				
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>						
<b>PROYECTO:</b> Reciclaje de desechos de concreto para ser utilizados como agregado pétreo en la construcción de base o subbase de una vía con pavimento flexible o rígido.						
<b>MATERIAL:</b> Base Granular			<b>PROCEDENCIA:</b> Tramo Experimental			
<b>ENSAYO REALIZADO:</b> CBR MÉTODO I						
<b>ENSAYO DE PENETRACION MUESTRAS PARA CBR</b>						
<b>MOLDE No.</b>	1		2		3	
<b>NUMERO DE GOLPES/CAPA</b>	12		26		55	
<b>DIAS INMERSION</b>	4		4		4	
<b>PENETRACION (m m)</b>	CARGA APLICADA (KN)	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA APLICADA (KN)	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA APLICADA (KN)	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )
0.63	3.74	19.685	4.99	26.298	5.54	29.192
1.27	4.51	23.767	5.94	31.310	7.48	39.422
1.90	5.36	28.210	6.96	36.683	9.83	51.770
2.54	5.92	31.207	7.80	41.075	11.75	61.897
3.17	6.38	33.635	8.70	45.828	12.93	68.097
3.81	7.06	37.200	9.78	51.512	13.98	73.625
5.08	8.57	45.157	11.36	59.830	16.31	85.922
7.62	10.03	52.855	14.68	77.345	20.05	105.607
10.16	11.45	60.295	16.69	87.937	22.34	117.697
12.70	11.81	62.207	17.36	91.450	24.21	127.514
<b>CBR CORREGIDO A 0,1"</b>	31.26		41.99		58.34	
<b>CBR CORREGIDO A 0,2"</b>	43.94		60.96		86.54	

**ENSAYO DE PENETRACION**




The graph plots Effort (kg/cm<sup>2</sup>) on the y-axis (ranging from 10,000 to 150,000) against Penetration (mm) on the x-axis (ranging from 0.00 to 14.00). Three data series are shown with their respective quadratic regression equations:

- CBR 12 (black diamonds):**  $y = -0.2514x^2 + 6.9105x + 15.322$
- CBR 26 (red squares):**  $y = -0.325x^2 + 9.9471x + 18.82$
- CBR 55 (blue triangles):**  $y = -0.5884x^2 + 15.586x + 22.543$


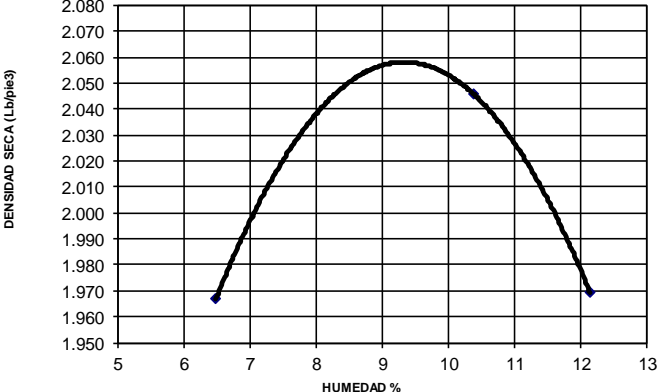
FUENTE: Autores.

**Anexo 10. Peso unitario del Suelo en el Terreno – Método del Cono y Arena para el Agregado Pétreo en Base Granular.**

		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD INV E - 161 - 2007 PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO - METODO DEL CONO Y ARENA CON CORRECCIÓN POR GRUESOS SEGÚN INV E-228-07					
<b>PROYECTO:</b> Reciclaje de desechos de concreto para ser utilizados como agregado pétreo en la construcción de base o subbase de una vía con pavimento flexible o rígido.							
<b>MATERIAL:</b> BASE GRANULAR							
<b>PROCEDENCIA:</b> Tramo Experimental							
<b>ENSAYO REALIZADO:</b> DENSIDAD MAX. SECA EN CAMPO							
<b>Abscisa:</b>							
<b>Margen</b>	IZ	DER.	IZ	DER.	IZ		
<b>Profundidad (Cm)</b>	12	12	12	12	12		
<b>Peso frasco + cono + arena inicial (g)</b>	7160	7110	7120	7107	7115		
<b>Peso frasco + cono + arena final (g)</b>	3660	3624	3655	3622	3632		
<b>Peso arena total usada (g)</b>	3500	3486	3465	3485	3483		
<b>Constante del cono (g)</b>	1745.0	1745.0	1745.0	1745.0	1745.0		
<b>Peso de arena en el hueco (g)</b>	1755.0	1741.0	1720.0	1740.0	1738.0		
<b>Densidad de la arena (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.354	1.354	1.354	1.354	1.354		
<b>Volumen del hueco (cm<sup>3</sup>)</b>	1296.2	1285.8	1270.3	1285.1	1283.6		
<b>Peso material extraído húmedo (g)</b>	2682	2880	2865	2870	2890		
<b>Humedad (%)</b>	7.5	7.8	7.6	7.7	7.6		
<b>Peso del material extraído seco (g)</b>	2495	2672	2663	2665	2686		
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.925	2.078	2.096	2.074	2.092		
<b>Densidad Max de laboratorio (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.062	2.062	2.062	2.062	2.062		
<b>% de compactación</b>	93.35	100.76	101.65	100.57	101.48		
<b>Densidad media (Dm)= 2.053</b>							
<b>Número de ensayos (n)= 5</b>							
<b>Constante que determina el límite inferior del intervalo de confianza (K)= 0.685</b>							
<b>Desviación estándar de la muestra (S)= 0.072</b>							
<b>Dm-(KxS)= 2.003</b>							
<b>0.95De= 1.959</b>							
<b>CUMPLE= SI</b>							


FUENTE: Autores.

**Anexo 11. Ensayo de Compactación en Laboratorio – Proctor Modificado para el Agregado Pétreo en Base Granular.**

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO</b> <b>PROCTOR MODIFICADO</b> <b>INV E - 142 - 2007</b>		
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>			
<b>PROYECTO:</b> Reciclaje de desechos de concreto para ser utilizados como agregado pétreo en la construcción de base o subbase de una vía con pavimento flexible o rígido.			
<b>DENSIDAD SECA</b>			
MOLDE No.	1	1	1
PESO MOLDE MAS MUESTRA COMPACTA (gr)	7510	7855	7750
PESO MOLDE (g)	3102	3102	3102
PESO MUESTRA COMPACTA (gr)	4408	4753	4648
VOLUMEN MUESTRA COMPACTA (g)	2105	2105	2105
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm <sup>3</sup> )	2.0941	2.2580	2.2082
% HUMEDAD	6.48	10.38	12.14
DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> )	1.967	2.046	1.969
<b>HUMEDAD</b>			
CÁPSULA No.	8	2	44
PESO CÁPSULA MAS SUELO HÚMEDO (gr)	762.40	997.80	838.20
PESO CÁPSULA MAS SUELO SECO (gr)	720.00	911.40	754.60
PESO CÁPSULA (gr)	65.50	79.00	66.20
% HUMEDAD	6.48	10.38	12.14
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b> $y = -0.0112x^2 + 0.2098x + 1.0797$		<b>RESULTADOS DEL ENSAYO:</b> <b>% Humedad óptima:</b> <u>9.37</u> <b>Densidad seca Máx: (g/cm<sup>3</sup>)</b> <u>2.062</u>	
		<b>CLASIFICACIÓN SUELO:</b> Sistema USC: GP-GM	

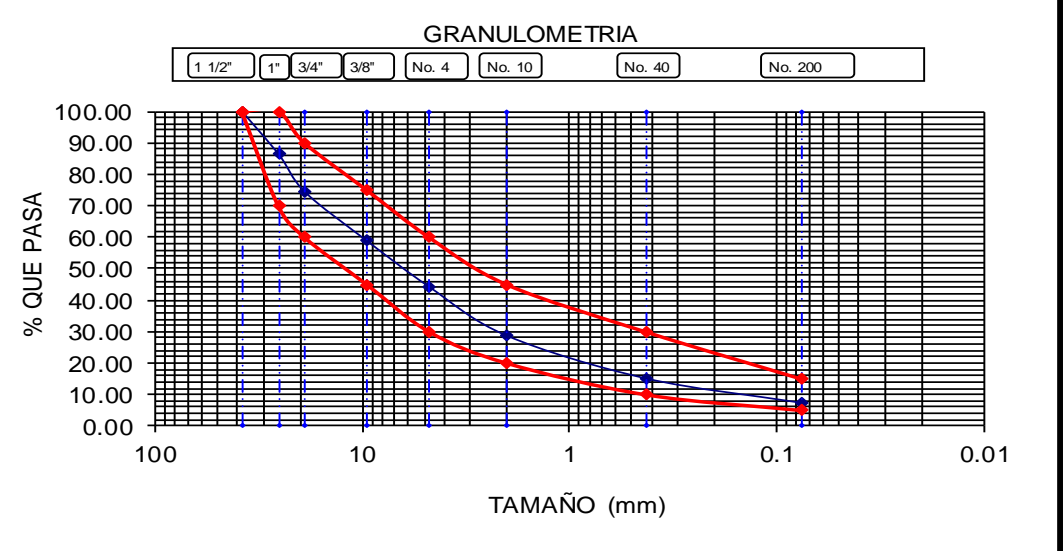
FUENTE: Autores.

**Anexo 12. Análisis Granulométrico para el Agregado Natural en Base Granular.**

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>INV E - 213 - 2007</b> <b>ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</b>				
<b>MATERIAL:</b> BASE GRANULAR <b>PROCEDE:</b> PLANTA TOQUILLA <b>NORMA APLICABLE:</b> INV-213					
<b>PESO INICIAL (gr) = 5104.6    PESO LAVADO (gr)= 4725.50</b>					
TAMIZ No.	TAMAÑO (mm)	PESO RETENIDO (gr)	POR. RETENIDO	RET. ACUMULADO	POR. QUE PASA
1 1/2"	38.100	0.0	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	692.4	13.56	13.56	86.44
3/4"	19.000	606.6	11.88	25.45	74.55
3/8"	9.500	797.3	15.62	41.07	58.93
No. 4	4.750	746.5	14.62	55.69	44.31
No. 10	2.000	792.4	15.52	71.21	28.79
No. 40	0.425	693.1	13.58	84.79	15.21
No.200	0.075	397.2	7.78	92.57	7.43
PASA 200		379.1	7.43	100.00	0.00


**GRANULOMETRIA**



OBSERVACIONES:	Cu= 53.2	Cc= 2.5	IG= 1
----------------	----------	---------	-------


FUENTE: Autores.

**Anexo 13.** Abrasión de Agregados en la Máquina de los Ángeles para el Agregado Natural en Base Granular.

		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS INV E - 218 - 219 - 2007 ABRASIÓN DE AGREGADOS EN LA MÁQUINA DE LOS ANGELES						
<b>PROYECTO:</b>		TRANSVERSAL DEL CUSIANA						
<b>MATERIAL:</b>		BASE GRANULAR		<b>PROCEDENCIA:</b>		PLANTA TOQUILLA		
<b>DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES</b>								
<b>TAMAÑO DEL AGREGADO</b>		<b>PESO Y GRADACIÓN DE LA MUESTRA</b>						
<b>PASA TAMIZ</b>	<b>RETENIDO</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	3"			2500				
3"	4"			2500				
4"	8"				5000			
<b>Numero de Esferas</b>		12	11	8	6	12	12	12
<b>DATOS DE LA PRUEBA</b>								
<b>Gradación Usada</b>					A			
<b>No de Esferas</b>					12			
<b>No de Revoluciones</b>					500			
<b>Pa (muestra seca antes del ensayo)</b>					5 [Kg]			
<b>Pb (peso muestra seca despues del ensayo y despues de lavar sobre tamiz No 12)</b>					3.608 [Kg]			
<b>Pa - Pb (perdida)</b>					1.392 [Kg]			
<b>% Desgaste <math>[Pa-Pb]/Pa * 100</math></b>					27.84 %			

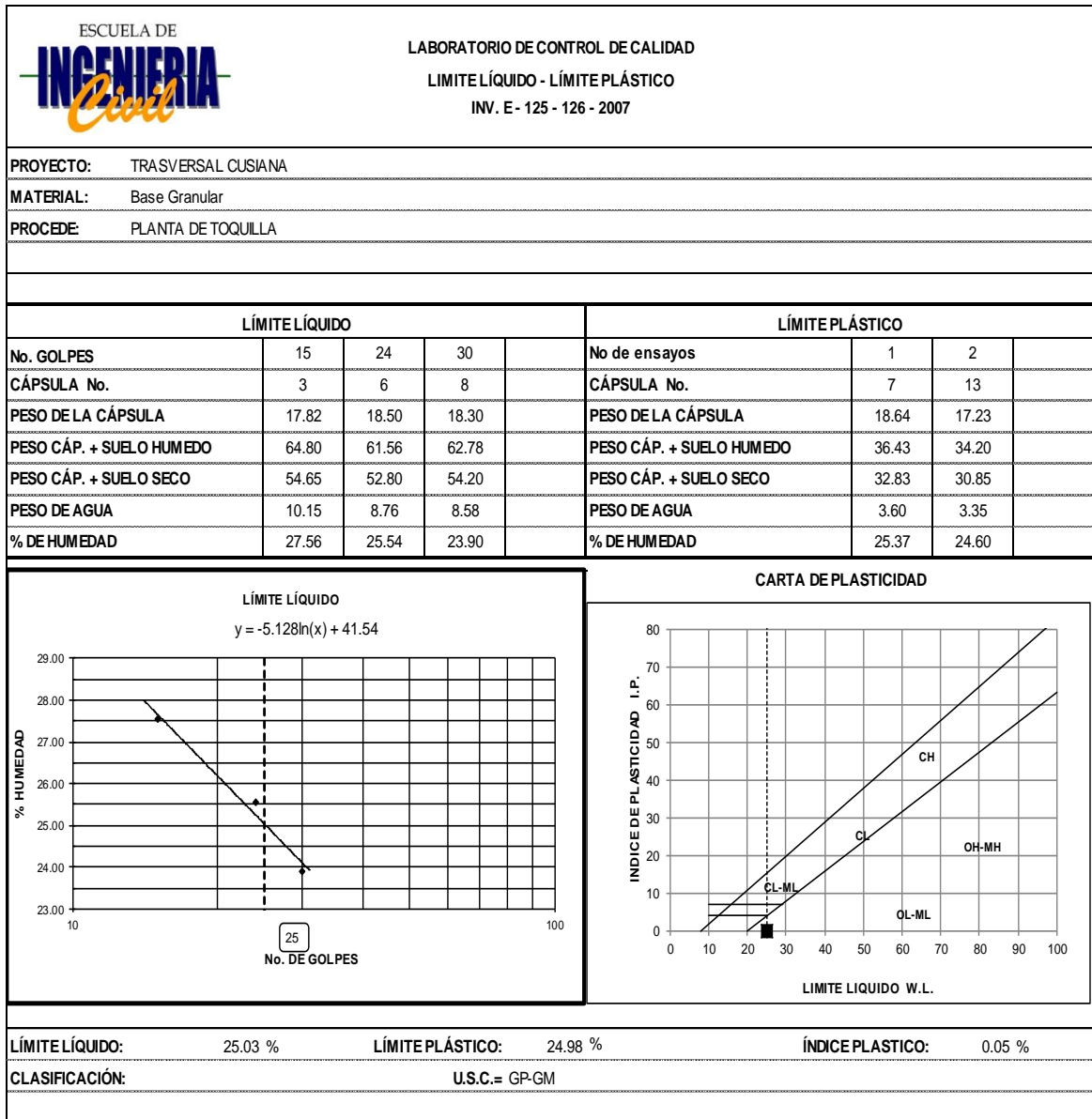
FUENTE: Autores.

Anexo 14. Sanidad en Sulfatos para el Agregado Natural en Base Granular.

		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD SANIDAD EN SULFATOS INV-E-220 - 2007						
PROYECTO:		TRANSVERSAL DEL CUSIANA						
MATERIAL:		BASE GRANULAR						
SOLUCIÓN EMPLEADA:		Sulfato de sodio			NUMERO DE CICLOS		5	
SANIDAD DEL AGREGADO GRUESO (ANÁLISIS CUANTITATIVO)								
TAMAÑO DEL PASA	RETENIDO	GRADACIÓN ORIGINAL	PESO DE LA FRACCIÓN	No. DE PARTÍCULA	PESO RETENIDO	PERDIDA TOTAL (%)	PERDIDA CORREGIDA	PARTICULAS
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"	9.00	1011.2		952.8	5.8	0.52	
1"	3/4"	13.40	520.1		501	3.7	0.49	
3/4"	1/2"	13.40	770.3		656.8	14.7	1.97	
1/2"	3/8"	10.55	402.22		324.2	19.4	2.05	
3/8"	No. 4	18.78	305.3		289.6	5.1	0.97	
TOTALES=						48.72	6.00	
ESPECIFICACION:		10% Max	PORCENTAJE DE ABRASIÓN		6.0%	CUMPLE:		SI
SANIDAD DEL AGREGADO FINO (ANÁLISIS CUANTITATIVO)								
TAMAÑO DEL PASA	RETENIDO	GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PESO DE LA FRACCIÓN	PESO RETENIDO DESPUES DE	PERDIDA TOTAL (%)	PERDIDA CORREGIDA		
No. 4	No. 8	2.80	104.3	90.3	13.42	0.38		
No. 8	No. 16	2.80	104.2	86.1	17.37	0.49		
No. 16	No. 30	7.60	103.6	88.2	14.86	1.13		
No. 30	No. 50	13.80	103.0	85	17.48	2.41		
No. 50	No.100	4.20	106.1	91.1	14.14	0.59		
TOTALES=		31.20			77.27	5.00		
ESPECIFICAC		10 MAX	PORCENTAJE DE ABRASIÓN		5.0%	CUMPLE:		SI

FUENTE: Autores.


**Anexo 15. Límite Líquido - Límite Plástico - Índice de Plasticidad para el Agregado Natural en Base Granular.**



FUENTE: Autores.




**Anexo 17. Índices de Alargamiento y Aplanamiento para el Agregado Natural en Base Granular.**

		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD INDICES DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO INV E - 230 - 2007				
PROYECTO: TRANSVERSAL DEL CUSIANA MATERIAL: BASE GRANULAR      PROCEDENCIA: PLANTA TOQUILLA						
INDICE DE ALARGAMIENTO						
TAMAÑO DEL AGREGADO		1.	2.	3.	4.	5.
PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ	PESO INICIAL	PARTÍCULAS ALARGADAS	3 = 100*2/1	GRADACIÓN ORIGINAL	5 = 3*4
2 1/2"	2"					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"	506.70	119.60	23.60	9.68	228
1"	3/4"	583.20	139.70	23.95	11.14	267
3/4"	1/2"	428.60	102.80	23.99	8.19	196
1/2"	3/8"	353.00	81.80	23.17	6.75	156
3/8"	1/4"	416.20	94.60	22.73	7.95	181
					<b>44</b>	<b>1029</b>
1. Peso inicial de la fracción						
2. Peso de las partículas retenidas entre las barras						
3. Índice de alargamiento de la fracción						
4. Porcentajes retenidos gradación original						
TOTAL PARTÍCULAS ALARGADAS = <u>24%</u>						
ESPECIFICACIÓN: 35% Max      CUMPLE: <u>SI</u>						
INDICE DE APLANAMIENTO						
TAMAÑO DEL AGREGADO		1.	2.	3.	4.	5.
PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ	PESO INICIAL	PARTÍCULAS APLANADAS	3 = 100*2/1	GRADACIÓN ORIGINAL	5 = 3*4
2 1/2"	2"					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"	506.70	132.80	26.21	9.68	254
1"	3/4"	583.20	157.70	27.04	11.14	301
3/4"	1/2"	428.60	116.20	27.11	8.19	222
1/2"	3/8"	353.00	98.50	27.90	6.75	188
3/8"	1/4"	416.20	105.80	25.42	7.95	202
					<b>44</b>	<b>1167</b>
1. Peso inicial de la fracción						
2. Peso de las partículas que pasan a través de las ranuras						
3. Índice de aplanamiento de la fracción						
4. Porcentajes retenidos gradación original						
TOTAL PARTÍCULAS APLANADAS = <u>27%</u>						
ESPECIFICACIÓN: 35% Max      CUMPLE: <u>SI</u>						


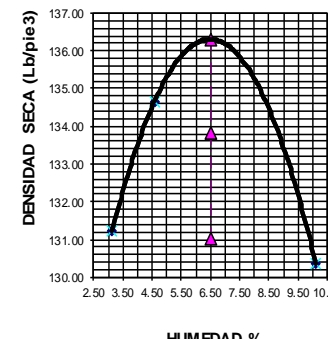
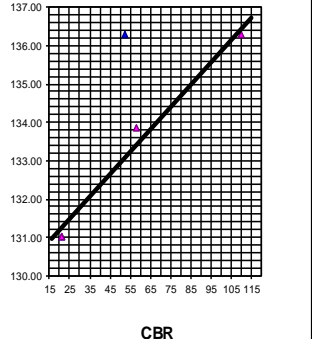
FUENTE: Autores.

**Anexo 18.** Ensayo de Porcentaje de Caras Fracturadas para el Agregado Natural en Base Granular.

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>ENSAYO DE PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS</b> <b>INV E - 227 - 2007</b>				
<b>PROYECTO:</b> TRANSVERSAL DEL CUSIANA						
<b>MATERIAL:</b> BASE GRANULAR			<b>PROCEDENCIA:</b> PLANTA TOQUILLA			
<b>PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS</b>						
<b>TAMAÑO DEL AGREGADO</b>		<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>5.</b>
<b>PASA TAMIZ</b>	<b>RETENIDO TAMIZ</b>	<b>PESO MUESTRA</b>	<b>PARTÍCULAS FRACTURADAS</b>	<b>3 = 2*100/1</b>	<b>GRADACIÓN ORIGINAL</b>	<b>5 = 3*4</b>
<b>2 1/2"</b>	<b>2"</b>					
<b>2"</b>	<b>1 1/2"</b>					
<b>1 1/2"</b>	<b>1"</b>	558.60	426.20	76.30	10.82	826
<b>1"</b>	<b>3/4"</b>	671.50	531.90	79.21	13.01	1031
<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	458.30	359.20	78.38	8.88	696
<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	413.30	317.50	76.82	8.01	615
<b>3/8"</b>	<b>1/4"</b>	396.80	283.10	71.35	7.69	549
<b>TOTAL=</b>					<b>48</b>	<b>3716</b>
<b>1. Peso de la muestra</b>						
<b>2. Peso del material con caras fracturadas</b>						
<b>3. Porcentaje de caras fracturadas</b>						
<b>4. Porcentaje retenido gradación original</b>						
<b>5. Ponderado de caras fracturadas</b>						
<b>PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS=</b>				<b>76.8%</b>		
<b>ESPECIFICACIÓN:</b>	<b>50% Min</b>	<b>CUMPLE :</b>	<b>SI</b>			
<b>OBSERVACIONES:</b>						
Este ensayo se realizo teniendo en cuenta mínimo 1 caras						


FUENTE: Autores.

**Anexo 19. Ensayo de CBR de laboratorio método I para el Agregado Natural en Base Granular (primera parte).**

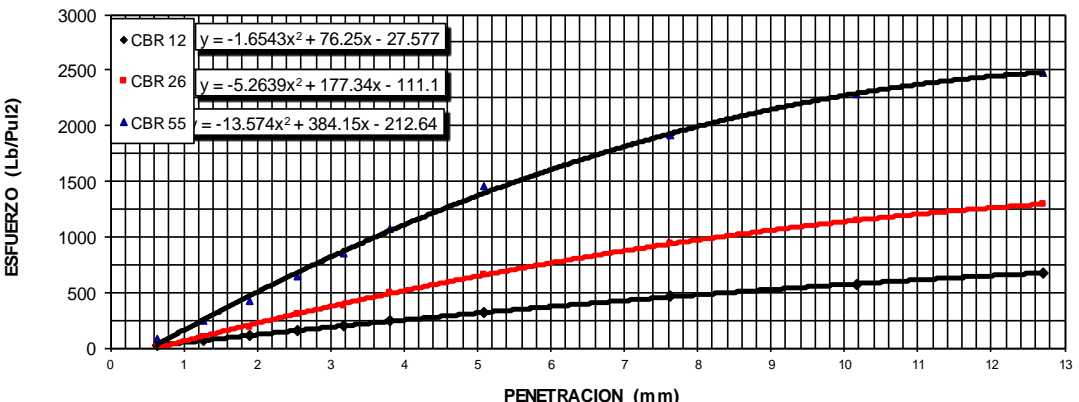
	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD INV E - 148 - 2007 ENSAYO CBR DE LABORATORIO METODO I								
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>									
PROYECTO: TRANSVERSAL DEL CUSIANA	ABSCISA: N/A								
MATERIAL: BASE GRANULAR	PROCEDENCIA: PLANTA TOQUILLA								
ENSAYO REALIZADO: CBR MÉTODO I	LL: NL      LP: NP      IP: NP								
<b>ENSAYO DE COMPACTACION</b>									
	<b>MUESTRAS PARA CBR</b>								
	12 GOLPES      26 GOLPES      55 GOLPES								
MOLDE No.	1      1      1								
PESO MOLDE MAS MUESTRA COMPACTA	7735      7922      8015								
PESO MOLDE	3107      3107      3107								
PESO MUESTRA COMPACTA (g)	4628      4815      4908								
PESO MUESTRA COMPACTA (lb)	10.19      10.61      10.81								
VOLUMEN MUESTRA COMPACTA (pies 3)	0.075      0.075      0.075								
DENSIDAD HÚMEDA (lb/pie3)	135.37      140.83      143.55								
% HUMEDAD	3.14      4.58      10.11								
DENSIDAD SECA (lb/pie3)	131.24      134.67      130.37								
<b>HUMEDAD ENSAYO DE COMPACTACION</b>									
CÁPSULA No.	40      41      10								
PESO CÁPSULA MAS SUELO HÚMEDO (g)	466.60      514.00      581.30								
PESO CÁPSULA MAS SUELO SECO (g)	453.60      493.00      530.80								
PESO CÁPSULA (g)	39.70      34.60      31.30								
% HUMEDAD	3.14      4.58      10.11								
HUMEDAD MATERIAL EN EL CBR:	6.49								
<b>HUMEDAD PENETRACION</b>									
CÁPSULA No.	41      10      12								
PESO CÁPSULA MAS SUELO HÚMEDO (g)	458.60      472.00      463.70								
PESO CÁPSULA MAS SUELO SECO (g)	424.90      440.60      436.50								
PESO CÁPSULA (g)	34.60      31.30      34.40								
% HUMEDAD	8.63      7.67      6.76								
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;"><b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b></p> <p style="text-align: center;"><math>y = -0.4523x^2 + 5.8692x + 117.27</math></p>  <p style="text-align: center;">DENSIIDAD SECA (Lb/pie3)</p> <p style="text-align: center;">HUMEDAD %</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;"><b>CBR VS DENSIDAD SECA</b></p> <p style="text-align: center;"><math>y = -0.000x^2 + 0.105x + 128.4</math></p>  <p style="text-align: center;">CBR</p> </div> </div>									
<p><b>CLASIFICACIÓN SUELO:</b></p> <p>Sistema USC: <u>GP - GM</u></p> <p><b>RESULTADOS DEL ENSAYO:</b></p> <p>Humedad óptima: <u>6.49</u></p> <p>Densidad seca Máx: (Lb/pie3) <u>136.3</u></p> <p>Densidad seca Máx: (g/cm3) <u>2.185</u></p> <p><b>EXPANSIÓN:</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Número de golpes por capa:</td> <td style="text-align: center;"><b>12 gol. 26 gol. 55 gol.</b></td> </tr> <tr> <td>Lectura inicial (mm).</td> <td style="text-align: center;">0.08    0.075    0.077</td> </tr> <tr> <td>Lectura final (mm).</td> <td style="text-align: center;">0.08    0.075    0.077</td> </tr> <tr> <td>Total expansión (mm).</td> <td style="text-align: center;">0      0      0</td> </tr> </table> <p>CUMPLE: SI</p>		Número de golpes por capa:	<b>12 gol. 26 gol. 55 gol.</b>	Lectura inicial (mm).	0.08    0.075    0.077	Lectura final (mm).	0.08    0.075    0.077	Total expansión (mm).	0      0      0
Número de golpes por capa:	<b>12 gol. 26 gol. 55 gol.</b>								
Lectura inicial (mm).	0.08    0.075    0.077								
Lectura final (mm).	0.08    0.075    0.077								
Total expansión (mm).	0      0      0								

FUENTE: Autores.

**Anexo 20.** Ensayo de CBR de laboratorio método I para el Agregado Natural en Base Granular (segunda parte).


		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> INV. E - 148 - 2007 <b>RELACION ESFUERZO DEFORMACION EN EL ENSAYO DE CBR</b>				
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>						
PROYECTO: TRANSVERSAL DEL CUSIANA		ABSCISA: N/A		CONSECUTIVO: N/A		
MATERIAL: BASE GRANULAR						
ENSAYO REALIZADO: CBR MÉTODO I		LL: NL		LP: NP IP: NP		
<b>ENSAYO DE PENETRACION MUESTRAS PARA CBR</b>						
MOLDE No.	1		2		3	
NUMERO DE GOLPES/CAPA	12		26		55	
DIAS INMERSION	3		3		3	
PENETRACION (mm)	CARGA APLICADA KN	ESFUERZO (LB/PuI2)	CARGA APLICADA KN	ESFUERZO (LB/PuI2)	CARGA APLICADA KN	ESFUERZO (LB/PuI2)
0.63	0.36	25.42	0.43	30.23	1.07	74.89
1.27	0.85	59.78	1.34	94.13	3.50	245.29
1.90	1.56	109.25	2.67	186.89	5.97	418.44
2.54	2.26	158.72	4.23	296.83	9.27	650.00
3.17	2.78	195.14	5.47	383.40	12.03	843.76
3.81	3.49	244.61	7.09	496.77	15.26	1069.81
5.08	4.43	310.57	9.45	662.36	20.66	1448.40
7.62	6.60	462.42	13.48	944.76	27.28	1912.88
10.16	8.19	574.41	16.36	1146.77	32.56	2282.54
12.70	9.61	674.04	18.38	1288.31	35.35	2478.37
CBR CORREGIDO A 0,1"	21.06		52.75		110.07	
CBR CORREGIDO A 0,2"	24.82		58.40		120.91	

<b>ENSAYO DE PENETRACION</b>	
	


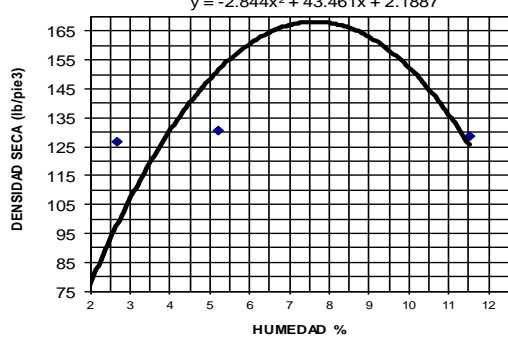
FUENTE: Autores.

**Anexo 21. Peso unitario del Suelo en el Terreno – Método del Cono y Arena para el Agregado Pétreo en Base Granular.**

		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD INV E - 161 - 2007 PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO - METODO DEL CONO Y ARENA CON CORRECCIÓN POR GRUESOS SEGÚN INV E-228-07					
<b>PROYECTO:</b> TRANSVERSAL DEL CUSIANA							
<b>MATERIAL:</b> BASE GRANULAR							
<b>PROCEDENCIA:</b> PLANTA TOQUILLA							
<b>ENSAYO REALIZADO:</b> DENSIDAD MAX. SECA EN CAMPO <b>LL:</b> NL <b>LP:</b> NP <b>IP:</b> NP							
<b>Abscisa:</b>	K85+525	K85+655	K86+610	K86+450	K86+390		
<b>Márgen</b>	IZ.	DER.	DER.	IZ.	DER.		
<b>Profundidad (Cm)</b>	12	12	11	12	11		
<b>Peso frasco + cono + arena inicial (g)</b>	6625	6592	6525	7180	7165		
<b>Peso frasco + cono + arena final (g)</b>	2800	3015	2630	3197	3285		
<b>Peso arena total usada (g)</b>	3825	3577	3895	3983	3880		
<b>Constante del cono (g)</b>	1745.0	1745.0	1745.0	1745.0	1745.0		
<b>Peso de arena en el hueco (g)</b>	2080.0	1832.0	2150.0	2238.0	2135.0		
<b>Densidad de al arena (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.354	1.354	1.354	1.354	1.354		
<b>Volumen del hueco (cm<sup>3</sup>)</b>	1536.2	1353.0	1587.9	1652.9	1576.8		
<b>Peso material extraído húmedo (g)</b>	3432	3055	3500	3687	3528		
<b>Humedad (%)</b>	4.0	4.8	4.2	4.0	4.2		
<b>Peso del material extraído seco (g)</b>	3300	2915	3359	3545	3386		
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.148	2.154	2.115	2.145	2.147		
<b>Densidad max de laboratorio (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.114	2.114	2.114	2.114	2.114		
<b>% de compactación</b>	101.62	101.92	100.06	101.46	101.57		
<b>Abscisa:</b>							
<b>Márgen</b>							
<b>Profundidad (Cm)</b>							
<b>Peso frasco + cono + arena inicial (g)</b>							
<b>Peso frasco + cono + arena final (g)</b>							
<b>Peso arena total usada (g)</b>							
<b>Constante del cono (g)</b>							
<b>Peso de arena en el hueco (g)</b>							
<b>Densidad de al arena (g/cm<sup>3</sup>)</b>							
<b>Volumen del hueco (cm<sup>3</sup>)</b>							
<b>Peso material extraído húmedo (g)</b>							
<b>Humedad pasa (%)</b>							
<b>Peso del material extraído seco (g)</b>							
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>							
<b>Densidad max de laboratorio (g/cm<sup>3</sup>)</b>							
<b>% de compactación</b>							
Densidad media (Dm)=							2.142
Número de ensayos (n)=							5
Constante que determina el límite inferior del intervalo de confianza (K)=							0.685
Desviación estandar de la muestra (S)=							0.015
Dm-(KxS)=							2.132
0.95De=							2.008
<b>CUMPLE=</b>							<b>SI</b>

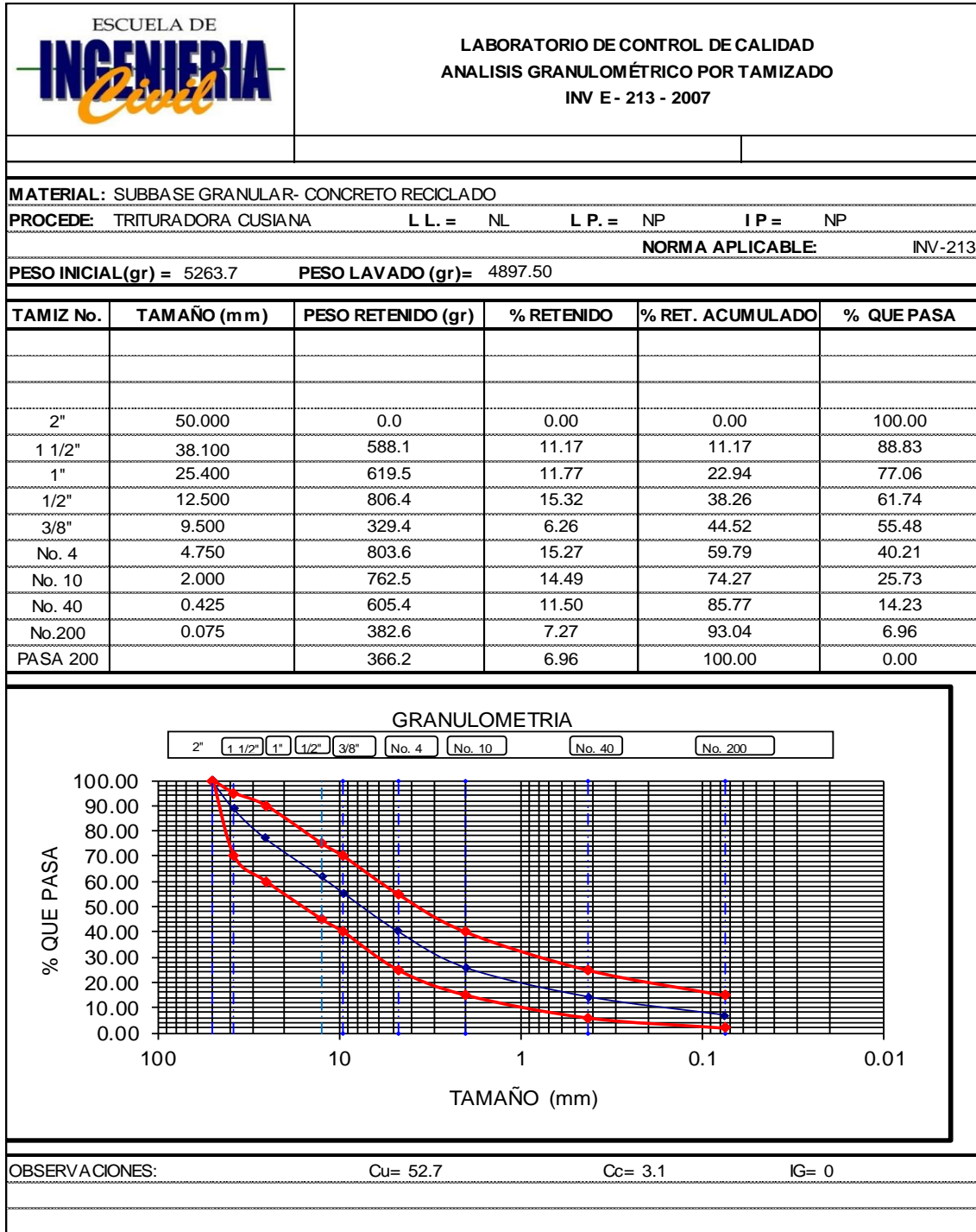
FUENTE: Autores.

**Anexo 22. Ensayo de Compactación en Laboratorio – Proctor Modificado para el Agregado Natural en Base Granular.**

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO</b> <b>INV E - 142 - 2007</b>						
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>							
<b>PROYECTO:</b> TRANSVERSAL DEL CUSIANA	<b>ABSCISA:</b> N/A						
<b>MATERIAL:</b> BASE GRANULAR							
<b>PROCEDENCIA:</b> PLANTA TOQUILLA	<b>LL:</b> NP <b>LP:</b> NP <b>IP:</b> NP						
<b>ENSAYO REALIZADO:</b> PROCTOR MODIFICADO							
<b>DENSIDAD SECA</b>							
<b>MOLDE No.</b>	1      1      1						
<b>PESO MOLDE MAS MUESTRA COMPACTA (gr)</b>	7510      7765      7960						
<b>PESO MOLDE (g)</b>	3102      3102      3102						
<b>PESO MUESTRA COMPACTA (gr)</b>	4408      4663      4858						
<b>PESO MUESTRA COMPACTA (lb)</b>	9.71      10.27      10.70						
<b>VOLUMEN MUESTRA COMPACTA (cm<sup>3</sup>)</b>	0.075      0.075      0.075						
<b>DENSIDAD HÚMEDA (lb/pie<sup>3</sup>)</b>	129.93      137.45      143.19						
<b>% HUMEDAD</b>	2.66      5.21      11.51						
<b>DENSIDAD SECA (lb/pie<sup>3</sup>)</b>	126.57      130.64      128.42						
<b>DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.029      2.095      2.059						
<b>HUMEDAD</b>							
<b>CÁPSULA No.</b>	23      47      44						
<b>PESO CÁPSULA MAS SUELO HÚMEDO (gr)</b>	681.60      802.40      831.50						
<b>PESO CÁPSULA MAS SUELO SECO (gr)</b>	666.00      764.90      752.50						
<b>PESO CÁPSULA (gr)</b>	78.60      45.20      66.00						
<b>% HUMEDAD</b>	2.66      5.21      11.51						
<div style="text-align: center;"> <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>  <math>y = -2.844x^2 + 43.461x + 2.1887</math> </div> 	<p><b>CLASIFICACIÓN SUELO:</b></p> <p>Sistema USC: <u>GP-GM</u></p> <p><b>RESULTADOS DEL ENSAYO:</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>% Humedad óptima:</td> <td style="text-align: right;">7.56</td> </tr> <tr> <td>Densidad seca Máx. (lb/pie<sup>3</sup>)=</td> <td style="text-align: right;">131.84</td> </tr> <tr> <td>Densidad seca Máx. (g/cm<sup>3</sup>)=</td> <td style="text-align: right;">2.114</td> </tr> </table>	% Humedad óptima:	7.56	Densidad seca Máx. (lb/pie <sup>3</sup> )=	131.84	Densidad seca Máx. (g/cm <sup>3</sup> )=	2.114
% Humedad óptima:	7.56						
Densidad seca Máx. (lb/pie <sup>3</sup> )=	131.84						
Densidad seca Máx. (g/cm <sup>3</sup> )=	2.114						


FUENTE: Autores.

**Anexo 23. Análisis Granulométrico para el Agregado Pétreo en Subbase Granular.**



FUENTE: Autores.


**Anexo 24. Abrasión de Agregados en la Máquina de los Ángeles para el Agregado Pétreo en Subbase Granular.**

		<b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b> <b>INV E- 218 - 219 - 2007</b> <b>ABRASIÓN DE AGREGADOS EN LA MÁQUINA DE LOS ANGELES</b>						
<b>PROYECTO:</b> Reciclaje de desechos de concreto para ser utilizados como agregado pétreo en la construcción de base o subbase de una vía con pavimento flexible o rígido.								
<b>MATERIAL:</b> SUBBASE GRANULAR- CONCRETO RECICLADO								
<b>DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES</b>								
<b>TAMAÑO DEL AGREGADO</b>		<b>PESO Y GRADACIÓN DE LA MUESTRA</b>						
<b>PASA TAMIZ</b>	<b>RETENIDO</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	3"			2500				
3"	4"			2500				
4"	8"				5000			
<b>Numero de Esferas</b>		12	11	8	6	12	12	12
<b>DATOS DE LA PRUEBA</b>								
<b>Gradación Usada</b>					F			
<b>No de Esferas</b>					12			
<b>No de Revoluciones</b>					500			
<b>Pa (muestra seca antes del ensayo)</b>					10 [Kg]			
<b>Pb (peso muestra seca despues del ensayo y despues de lavar sobre tamiz No 12)</b>					7.447 [Kg]			
<b>Pa - Pb (perdida)</b>					2.553 [Kg]			
<b>% Desgaste [Pa-Pb]/Pa * 100</b>					25.53 %			

FUENTE: Autores.

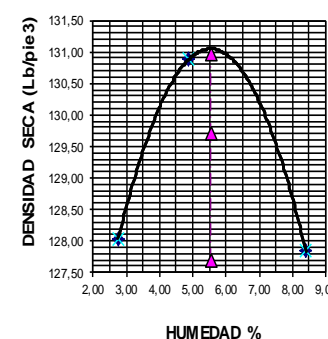


**Anexo 256.** Ensayo de CBR de laboratorio método I para el Agregado Pétreo en Subbase Granular (primera parte).

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> INV E - 148 - 2007 <b>ENSAYO CBR DE LABORATORIO METODO I</b>
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>	
<b>PROYECTO:</b> Reciclaje de desechos de concreto para ser utilizados como agregado pétreo en la construcción de base o subbase de una vía con pavimento flexible o rígido.	
<b>MATERIAL:</b> SUBBASE GRANULAR- CONCRETO RECICLADO	<b>PROCEDENCIA:</b> PLANTA TRITURADORA CUSIANA
<b>ENSAYO REALIZADO:</b> CBR MÉTODO I	<b>LL:</b> NL <b>LP:</b> NP <b>IP:</b> NP
<b>ENSAYO DE COMPACTACION</b>	
	<b>MUESTRAS PARA CBR</b>
	12 GOLPES      26 GOLPES      55 GOLPES
<b>MOLDE No.</b>	1      1      1      1      2      3
<b>PESO MOLDE MAS MUESTRA COMPACTA</b>	7605      7800      7845      9190      8960      9465
<b>PESO MOLDE</b>	3107      3107      3107      4570      4243      4735
<b>PESO MUESTRA COMPACTA (g)</b>	4498      4693      4738      4620      4717      4730
<b>PESO MUESTRA COMPACTA (lb)</b>	9,91      10,34      10,44      10,18      10,39      10,42
<b>VOLUMEN MUESTRA COMPACTA (pies 3)</b>	0,075      0,075      0,075      0,075      0,075      0,075
<b>DENSIDAD HÚMEDA (lb/pie3)</b>	131,56      137,27      138,58      135,95      138,09      139,42
<b>% HUMEDAD</b>	2,76      4,88      8,41      6,46      6,46      6,46
<b>DENSIDAD SECA (lb/pie3)</b>	128,03      130,88      127,84      127,70      129,71      130,96
<b>HUMEDAD ENSAYO DE COMPACTACION</b>	
<b>CÁPSULA No.</b>	10      14      4      20      12      16
<b>PESO CÁPSULA MAS SUELO HÚMEDO (g)</b>	522,80      484,30      554,50      512,40      465,20      456,20
<b>PESO CÁPSULA MAS SUELO SECO (g)</b>	509,60      463,60      514,20      487,20      442,20      434,00
<b>PESO CÁPSULA (g)</b>	30,70      39,40      34,80      34,60      32,00      35,00
<b>% HUMEDAD</b>	2,76      4,88      8,41      5,57      5,61      5,56
<b>HUMEDAD MATERIAL EN EL CBR:</b>	5,54
<b>CLASIFICACIÓN SUELO:</b>	
Sistema AASHTO:	A-2-4 (0)
Sistema USC:	SM
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO:</b>	
Humedad óptima:	5,54
Densidad seca Máx: (Lb/pie3)	131,0
Densidad seca Máx: (g/cm3)	2,100
<b>EXPANSIÓN:</b>	
Número de golpes por capa:	<b>12 gol. 26 gol. 55 gol.</b>
Lectura inicial (mm).	0      0      0
Lectura final (mm).	0      0      0
Total expansión (mm).	0      0      0
<b>CUMPLE:</b> SI	

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN**

$y = -0,39x^2 + 4,318x + 119,09$

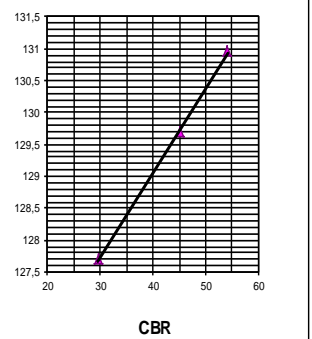


**DENSIDAD SECA (Lb/pie3)**

**HUMEDAD %**

**CBR VS DENSIDAD SECA**


$y = -0,000x^2 + 0,105x + 128,4$



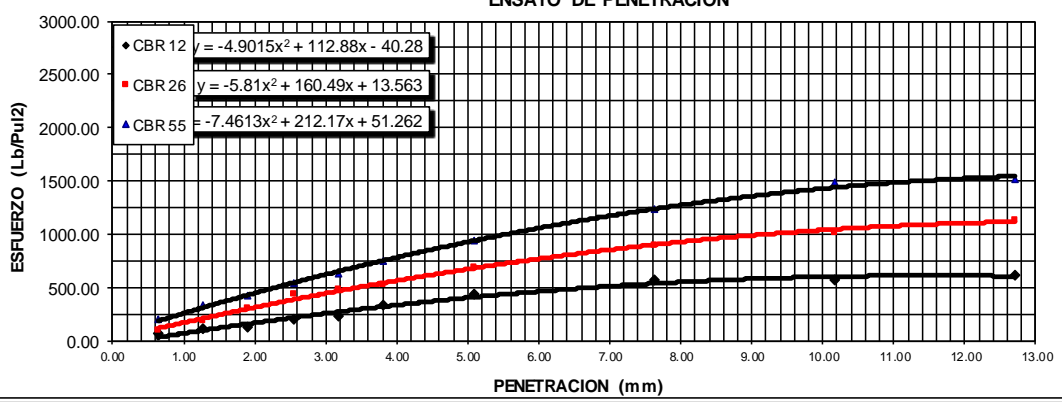
**CBR**

FUENTE: Autores.

**Anexo 27. Ensayo de CBR de laboratorio método I para el Agregado Pétreo en Subbase Granular (segunda parte).**

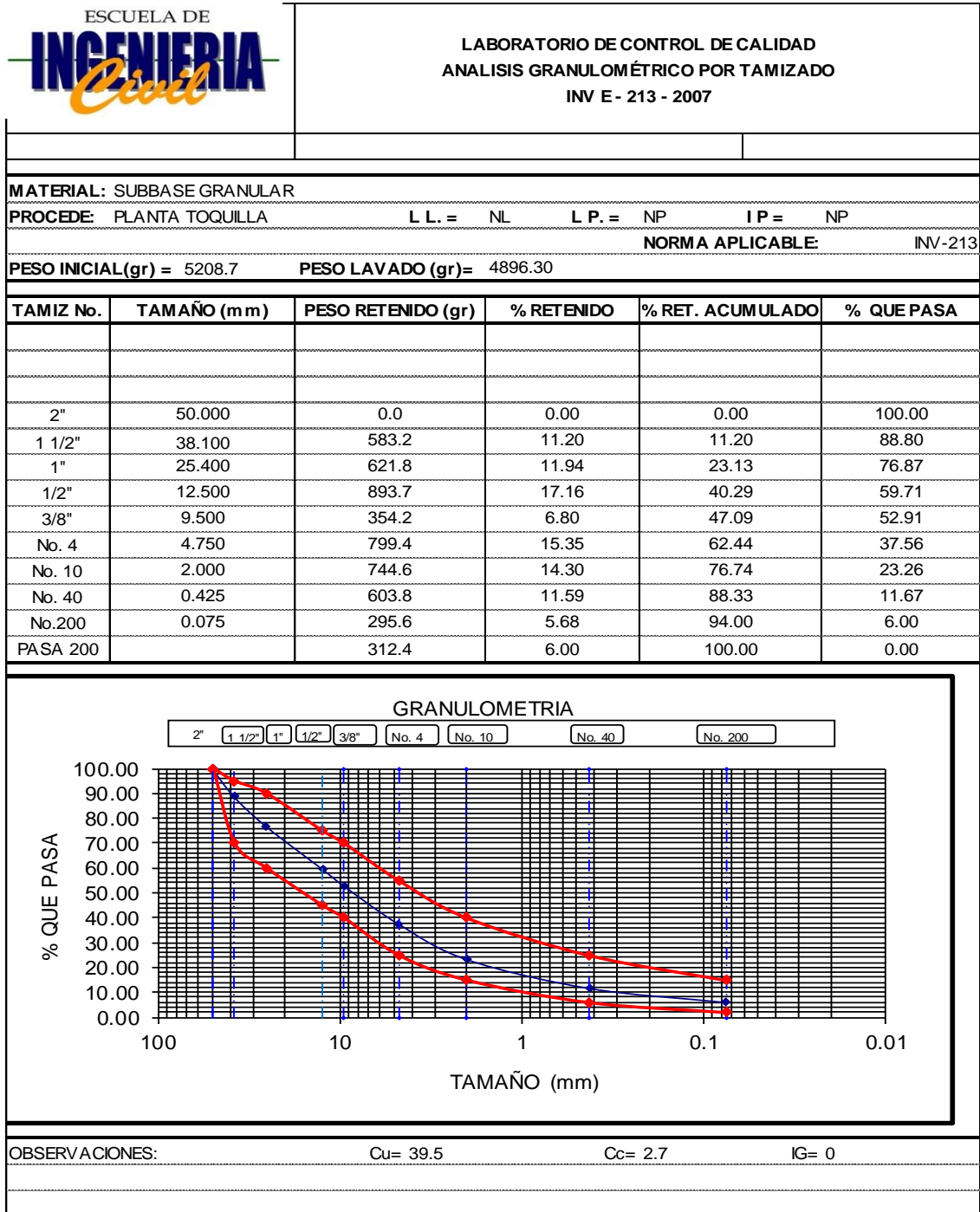
		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> INV E - 148 - 2007 <b>RELACION ESFUERZO DEFORMACION EN EL ENSAYO DE CBR</b>				
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>						
<b>PROYECTO:</b> Reciclaje de desechos de concreto para ser utilizados como agregado pétreo en la construcción de base o subbase de una vía con pavimento flexible o rígido.						
<b>MATERIAL:</b> SUBBASE GRANULAR- CONCRETO RECICLADO						
<b>ENSAYO REALIZADO:</b> CBR MÉTODO I                      LL:    NL                      LP:    NP                      IP:    NP						
<b>ENSAYO DE PENETRACION MUESTRAS PARA CBR</b>						
<b>MOLDE No.</b>	1		2		3	
<b>NUMERO DE GOLPES/CAPA</b>	12		26		55	
<b>DIAS INMERSION</b>	3		3		3	
<b>PENETRACION (mm)</b>	<b>CARGA APLICADA KN</b>	<b>ESFUERZO (LB/Pul2)</b>	<b>CARGA APLICADA KN</b>	<b>ESFUERZO (LB/Pul2)</b>	<b>CARGA APLICADA KN</b>	<b>ESFUERZO (LB/Pul2)</b>
0.63	0.86	60.46	1.27	89.32	2.80	196.51
1.27	1.50	105.13	2.73	191.70	4.70	329.81
1.90	1.76	123.68	4.37	306.10	5.94	416.38
2.54	2.79	195.82	6.13	429.78	7.59	532.22
3.17	3.35	234.99	6.75	473.07	8.97	629.04
3.81	4.68	328.43	7.56	529.75	10.58	742.07
5.08	6.13	430.12	9.72	681.26	13.28	931.36
7.62	8.20	575.10	12.71	891.17	17.58	1232.31
10.16	8.02	562.05	14.54	1019.65	21.19	1485.85
12.70	8.73	611.86	16.14	1131.65	21.61	1515.05
<b>CBR CORREGIDO A 0,1"</b>	29.52		38.35		54.19	
<b>CBR CORREGIDO A 0,2"</b>	32.46		45.23		62.41	

<b>ENSAYO DE PENETRACION</b>	
	<p>                     ♦ CBR 12 <math>y = -4.9015x^2 + 112.88x - 40.28</math>                      ■ CBR 26 <math>y = -5.81x^2 + 160.49x + 13.563</math>                      ▲ CBR 55 <math>y = -7.4613x^2 + 212.17x + 51.262</math> </p>


FUENTE: Autores.

**Anexo 28. Análisis Granulométrico para el Agregado Natural en Subbase Granular.**



FUENTE: Autores.


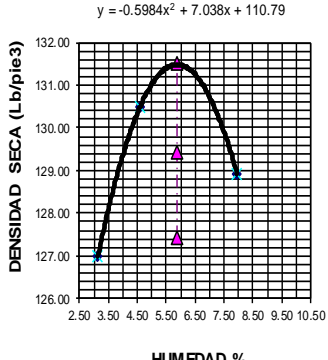
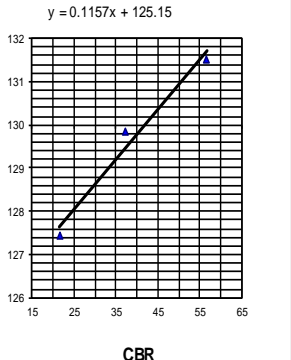
**Anexo 29.** Abrasión de Agregados en la Máquina de los Ángeles para el Agregado Natural en Subbase Granular.

		<p style="text-align: center;"><b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>  <b>INV E - 218 - 219 - 2007</b>  <b>ABRASIÓN DE AGREGADOS EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b></p>						
<p><b>PROYECTO:</b> TRANSVERSAL CUSIANA</p> <p><b>MATERIAL:</b> SUBBASE GRANULAR</p>								
<b>DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES</b>								
<b>TAMAÑO DEL AGREGADO</b>		<b>PESO Y GRADACIÓN DE LA MUESTRA</b>						
<b>PASATA MIZ</b>	<b>RETENIDO</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	3"			2500				
3"	4"			2500				
4"	8"				5000			
<b>Numero de Esferas</b>		12	11	8	6	12	12	12
<b>DATOS DE LA PRUEBA</b>								
<b>Gradación Usada</b>					F			
<b>No de Esferas</b>					12			
<b>No de Revoluciones</b>					500			
<b>Pa (muestra seca antes del ensayo)</b>					10 [Kg]			
<b>Pb (peso muestra seca despues del ensayo y despues de lavar sobre tamiz No 12)</b>					7.351 [Kg]			
<b>Pa - Pb (perdida)</b>					2.649 [Kg]			
<b>% Desgaste [(Pa-Pb)/Pa * 100]</b>					26.49 %			

FUENTE: Autores.

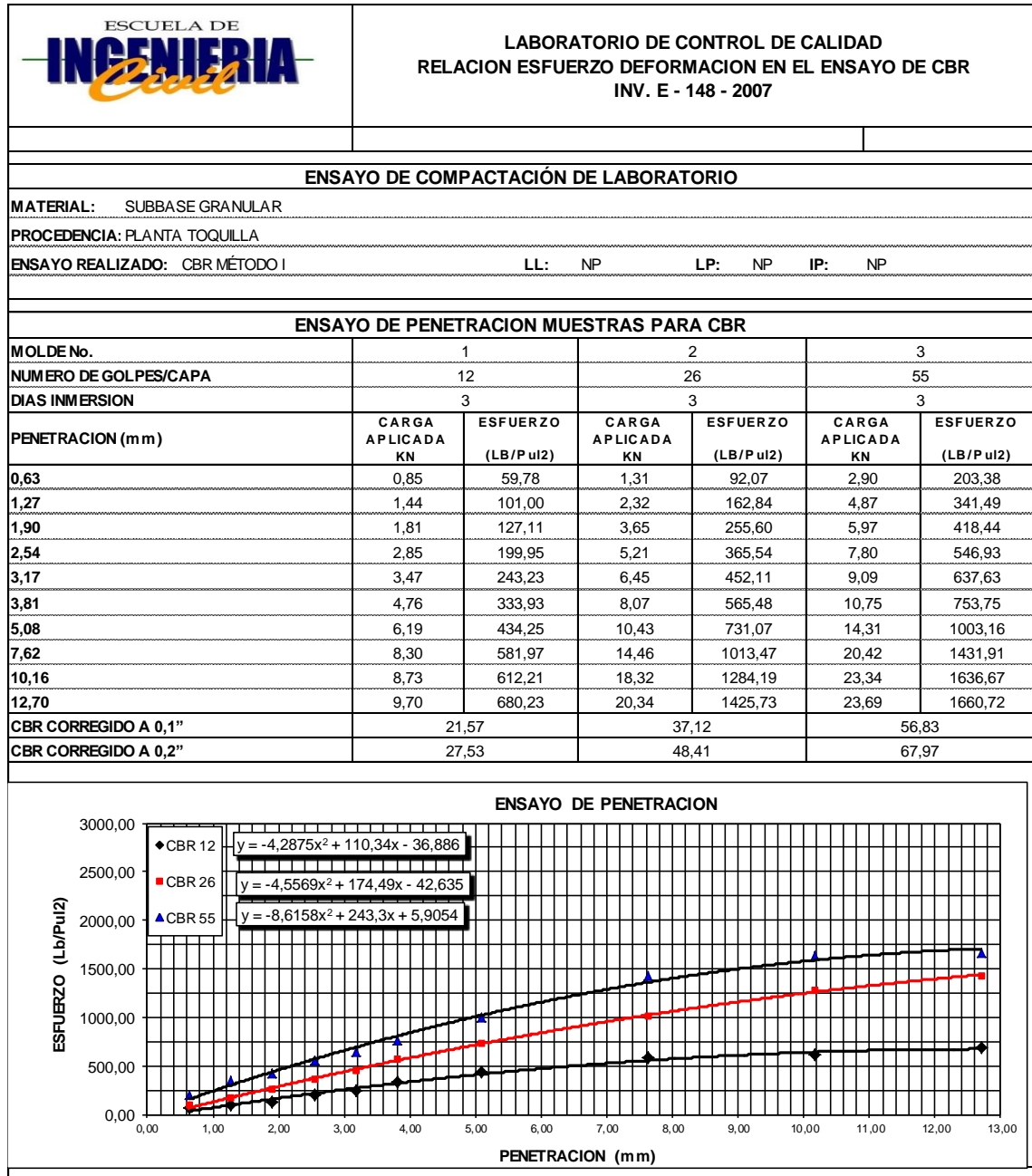


**Anexo 31. Ensayo de CBR de laboratorio método I para el Agregado Natural en Subbase Granular (primera parte).**

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>ENSAYO CBR DE LABORATORIO METODO I</b> <b>INV E - 148 - 2007</b>								
<b>MATERIAL:</b> SUB-BASE GRANULAR <b>PROCEDENCIA:</b> PLANTA TOQUILLA <b>ENSAYO REALIZADO:</b> CBR MÉTODO I      LL: NP      LP: NP      IP: NP									
<b>ENSAYO DE COMPACTACION</b>				<b>MUESTRAS PARA CBR</b>					
				12 GOLPES	26 GOLPES	55 GOLPES			
<b>MOLDE No.</b>	1	1	1	1	2	3			
<b>PESO MOLDE MAS MUESTRA COMPACTA (gr.)</b>	7585	7772	7865	9180	8950	9485			
<b>PESO MOLDE (gr.)</b>	3107	3107	3107	4570	4243	4735			
<b>PESO MUESTRA COMPACTA (gr.)</b>	4478	4665	4758	4610	4707	4750			
<b>PESO MUESTRA COMPACTA (lb.)</b>	9.86	10.28	10.48	10.15	10.37	10.46			
<b>VOLUMEN MUESTRA COMPACTA (pies<sup>3</sup>)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075			
<b>DENSIDAD HUMEDA (lb/pie<sup>3</sup>)</b>	130.98	136.45	139.17	135.65	137.79	140.01			
<b>% HUMEDAD</b>	3.14	4.58	7.95	6.46	6.46	6.46			
<b>DENSIDAD SECA (lb/pie<sup>3</sup>)</b>	126.99	130.47	128.92	127.42	129.43	131.52			
<b>HUMEDAD ENSAYO DE COMPACTACION</b>				<b>HUMEDAD PENETRACION</b>					
<b>CÁPSULA No.</b>	40	41	10	41	10	12			
<b>PESO CÁPSULA MAS SUELO HÚMEDO (gr.)</b>	466.60	514.00	581.30	458.60	472.00	463.70			
<b>PESO CÁPSULA MAS SUELO SECO (gr.)</b>	453.60	493.00	540.80	436.00	448.50	440.80			
<b>PESO CÁPSULA (gr.)</b>	39.70	34.60	31.30	34.60	31.30	34.40			
<b>% HUMEDAD</b>	3.14	4.58	7.95	5.63	5.63	5.63			
<b>HUMEDAD MATERIAL EN EL CBR:</b>	5.88								
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b> $y = -0.5984x^2 + 7.038x + 110.79$ 				<b>CBR VS DENSIDAD SECA</b> $y = 0.1157x + 125.15$ 			<b>CLASIFICACIÓN SUELO:</b> Sistema AASHTO: A-2-4 (0) Sistema USC: GP-GM <b>RESULTADOS DEL ENSAYO:</b> % Humedad óptima: 5.88 Densidad seca Máx: (Lb/pie <sup>3</sup> ) 131.5 Densidad seca Máx: (g/cm <sup>3</sup> ) 2.108  <b>EXPANSIÓN:</b> Número de golpes por capa: 12 gol. 26 gol. 55 gol. Lectura inicial (mm): 0 0 0 Lectura final (mm): 0 0 0 Total expansión (mm): 0 0 0 <b>CUMPLE:</b> SI		

FUENTE: Autores.

**Anexo 32.** Ensayo de CBR de laboratorio método I para el Agregado Natural en Subbase Granular (segunda parte).



FUENTE: Autores.