



**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL USO DE AGREGADO PÉTREO Y  
ESCORIA DE ACERÍA EN CARRETERAS**

**Heber Antonio Enríquez Jiménez**  
**Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol**

**Guatemala, abril de 2010.**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL USO DE AGREGADO PÉTREO Y  
ESCORIA DE ACERÍA EN CARRETERAS**

**TRABAJO DE GRADUACION**

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR:**

**HEBER ANTONIO ENRÍQUEZ JIMÉNEZ  
ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL  
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**GUATEMALA, ABRIL DE 2010.**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de Lopéz
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

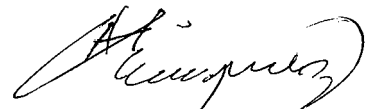
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL USO DE AGREGADO PÉTREO Y ESCORIA  
DE ACERÍA EN CARRETERAS,**

tema que fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 17 de noviembre de 2008.



**Heber Antonio Enríquez Jiménez**



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 11948

Guatemala, 03 de Marzo de 2 010

Ingeniero José Gabriel Ordoñez Morales  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Área de Materiales de Construcción y Obras Civiles  
Coordinador


Ingeniero Ordoñez

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación "ESTUDIO COMPARATIVO DEL USO DE AGREGADO PETREO Y ESCORIA DE ACERIA EN CARRETERAS", elaborado con el estudiante universitario Heber Antonio Enríquez Jiménez, quien conto con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario Enríquez Jiménez satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

*"Id y enseñad a todos"*

  
Inga. Civil Dilma Yahet Mejicanos Job  
Col. 5947  
ASESORA

*Dilma Y. Mejicanos Job*  
Ingeniera Civil  
Col. 5947



Guatemala,  
5 de marzo de 2010

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ESTUDIO COMPARATIVO DEL USO DE AGREGADO PÉTREO Y ESCORIA DE ACERÍA EN CARRETERAS**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Heber Antonio Enríquez Jiménez, quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Enríquez Jiménez, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

José Gabriel Ordóñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Heber Antonio Enríquez Jiménez, titulado ESTUDIO COMPARATIVO DEL USO DE AGREGADO PÉTREO Y ESCORIA DE ACERÍA EN CARRETERAS, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco 

Guatemala, abril de 2010

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO DEL USO DE AGREGADO PÉTREO Y ESCORIA DE ACERÍA EN CARRETERAS**, presentado por el estudiante universitario **Heber Antonio Enríquez Jiménez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, abril de 2010

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **DIOS**

Quien me infundio infinita fuente de sabiduría y conocimiento.

### **MIS PADRES**

Antonio Enríquez Morales y

Alba Veria Jiménez Castañaza

Por su paciencia y por brindarme su apoyo económico y moral para lograr esta meta.

### **MIS HERMANAS**

Loammy, Naldy, Alba y Nancy

Deseándoles que mi logro sirva de inspiración para alcanzar sus metas.

### **MIS ABUELOS**

Estanislao Enríquez, Alberto Jiménez, Socorro Morales y Luz Castañaza  
(D.E.P.)

### **MIS TÍOS PRIMOS SOBRINOS Y CUÑADOS**

Con especial aprecio

### **MIS AMIGOS**

Por su abnegado apoyo

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Mi alma máter y casa que me inspiró para seguir esta carrera.

### **LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

Por ser la facilitadora de la adquisición del conocimiento técnico y Científico que me permitió obtener el título de Ingeniero Civil

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>IX</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XV</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XVII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XIX</b>
<b>1 CARRETERAS</b>	<b>1</b>
1.1. Definición	1
1.2. Tipos	1
1.2.1. Clasificación por su transitabilidad	1
1.2.2. Clasificación administrativa	2
1.2.3. Clasificación oficial	3
1.3. Materiales	3
1.4. Características	4
1.4.1. Elementos de un tramo carretero	5
1.4.1.1. Secciones típicas	5
1.4.1.2. Ancho de rodadura	5
1.4.1.3. Pendiente transversal	6

1.4.1.4.	Tangentes	6
1.4.1.5.	Drenaje	7
1.4.1.6.	Material balasto	7
1.5.	Procesos constructivos	7
1.5.1.	Control de calidad	9
1.5.2.	Clasificación de suelos	11
1.5.2.1.	Sistema unificado de clasificación (SUC)	11
1.5.2.2.	Clasificación de la AASHTO	12
<b>2.</b>	<b>ESCORIA DE ACERÍA</b>	<b>13</b>
2.1.	Definición	13
2.2.	Usos en construcción	13
2.2.1.	Usos en carreteras	15
2.2.1.1.	Tratamientos superficiales	15
2.2.1.2.	Bases granulares	16
2.2.2.	Otros	16
2.3.	Tipos	17
2.3.1.	Escoria de altos Hornos (AH)	17
2.3.2.	Escoria de Aceración (HAE)	18
2.3.3.	Otras	19
2.4.	Composición química	19
2.5.	Características físicas y mecánicas	21
2.6.	Propiedades térmicas	22
2.7.	Escoria de Siderúrgica de Guatemala (SIDEGUA)	22



3.3.2.3. Espesor base (después de la compactación)	34
3.3.3. Proceso constructivo	35
3.3.3.1. Trabajos preliminares	35
3.3.3.2. Sub base	36
3.3.3.3. Base	37
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	
4.1. Laboratorio	39
<b>CONCLUSIONES</b>	47
<b>RECOMENDACIONES</b>	49
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	51
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	53
<b>ANEXOS</b>	55

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Autopista	2
2.	Pavimento de adoquín	3
3.	Tipos de pavimentos	4
4.	Pavimento de piedra	5
5.	Componente de sección típica	6
6.	Pavimento colapsado, suelo inestable	9
7.	Carretera en construcción	11
8.	Equipo de construcción de carretera	12
9.	Escoria de acería	15
10.	Aplicación de escoria de acería en carreteras	17
11.	Escoria de horno de arco eléctrico	18
12.	Textura de escoria de acería	22
13.	Planta Escuintla SIDEGUA-MULTISERV	23
14.	Escoria de acería, planta SIDEGUA	27
15.	Compactación de material	37

16.	Resultados de granulometría de mezcla de agregado grueso	39
17.	Resultados de granulometría de mezcla de escoria de acería	40
18.	Resultados de CBR de mezcla de agregado grueso	41
19.	Resultados de CBR de mezcla de escoria de acería	42
20.	Resultados de proctor de mezcla de agregado grueso	43
21.	Resultados de proctor de mezcla de escoria de acería	44
22.	Resultados de L.L, I.P de mezcla de agregado grueso	45
23.	Resultados de L.L, I.P de mezcla de escoria de acería	45



## **TABLAS**

<b>I</b>	<b>Composición mineralógica escoria de horno de arco eléctrico</b>	<b>19</b>
<b>II</b>	<b>Composición química escorias</b>	<b>20</b>
<b>III</b>	<b>Composición química escoria de horno de arco eléctrico</b>	<b>24</b>
<b>IV</b>	<b>Graduaciones B1 y B2 para material de sub-base o base granular Dirección General de Caminos</b>	<b>26</b>
<b>V</b>	<b>Resultados materiales para sub-base y base</b>	<b>30</b>
<b>VI</b>	<b>Tipos de suelos subrasante y valores aproximados de k</b>	<b>33</b>
<b>VII</b>	<b>Valores de k para diseño sobre bases granulares (PCA)</b>	<b>33</b>
<b>VIII</b>	<b>Interrelación aproximada de las clasificaciones de suelos y los valores soporte</b>	<b>35</b>



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>ACP</b>	Siglas en inglés de la Asociación del Cemento Pórtland.
<b>AP</b>	Agregado pétreo.
<b>AASHTO</b>	Siglas en inglés de la <i>American Association State Highway and Transportation Official</i> .
<b>cm</b>	Centímetros
<b>EA</b>	Escoria de acería.
<b>f<sub>c</sub></b>	Resistencia del concreto
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramos por centímetro cuadrado
<b>l</b>	Litros
<b>m</b>	Metros
<b>m<sup>2</sup></b>	Metros cuadrados

<b>MR</b>	Material de relleno
<b>MRAP</b>	Mezcla material relleno + agregado pétreo
<b>MREA</b>	Mezcla material relleno + escoria de acería
<b>psi</b>	Libras por pulgada cuadrada
<b>Σ</b>	Sumatoria
<b>Ton</b>	Toneladas
<b>K</b>	Modulo de Reacción del Suelo (Kg/cm <sup>3</sup> ó lb/pulg <sup>3</sup> )

## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	Siglas en inglés de la <i>American Association State Highway and Transportation Official</i> .
<b>Agregado</b>	Material granular, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio aglutinante para formar concreto hidráulico.
<b>ASTM</b>	Siglas de la Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los materiales ( <i>American Society for Testing and Materials</i> ).
<b>Base Granular</b>	Es la capa formada por la combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural, clasificados o con trituración parcial para constituir una base integrante de un pavimento.
<b>Calidad</b>	Cualidad que deben cumplir los materiales y los trabajos.
<b>Cuneta</b>	Pequeño canal que se utiliza para drenar agua por los costados del camino.

<b>Escoria de Acería</b>	La escoria es un agregado rugoso de origen mineral que se compone de silicatos de calcio y ferritas, combinados con óxidos fundidos de hierro, aluminio, calcio y magnesio.
<b>Esfuerzo</b>	Acción enérgica de un cuerpo contra una acción.
<b>Especificaciones</b>	Normas que rigen el diseño de un proyecto, las cuales son en función del tipo de obra de construcción requerida para llenar la finalidad previamente establecida.
<b>Infraestructura</b>	Se denomina infraestructura urbana (según etimología <i>Infra</i> = debajo) a aquella realización humana diseñada y dirigida por profesionales de Arquitectura, Ingeniería Civil, Urbanistas, etc, que sirven de soporte para el desarrollo de otras actividades y su funcionamiento, necesario en la organización estructural de la ciudad.
<b>Muestra</b>	Grupo de unidades o porción de material, tomados de una cantidad mayor de unidades o de material. Sirve para aportar información para tomar decisiones sobre el conjunto mayor de unidades, sobre un material o sobre un proceso de producción.
<b>Porosidad</b>	Está dada por su estructura física de la roca que presenta numerosos poros perceptibles a simple vista.

<b>Rasante</b>	Proyección del eje de la corona de una carretera sobre un eje vertical.
<b>Residuo o desecho</b>	Sustancia, elemento u objeto que el generador elimina, se propone eliminar o está obligado a eliminar.
<b>Sub-Base</b>	Es la capa de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas del tránsito proveniente de las capas superiores del pavimento, de tal manera que el suelo de sub-rasante las pueda soportar.
<b>Sub-Rasante</b>	Es la capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad tal que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.
<b>Ceniza volcánica</b>	Estos tipos de materiales se encuentran en suelos volcánicos formados a partir de depósitos de material piro clástico, coladas de lava y desprendimientos o avalanchas procedentes de las partes más elevadas del volcán. Las tonalidades varían desde pardo grisáceos muy oscuros, pardo-amarillentos.

**Terreno de fundación** De su capacidad de soporte depende en gran parte el espesor que debe tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Si el terreno de fundación es pésimo debe desecharse este material y sustituirse por otro de mejor calidad. Si el terreno de fundación es malo y se halla formado por un suelo fino, limoso o arcilloso susceptible de saturación habrá de ponerse una sub-base de material granular seleccionada antes de ponerse la base y capa de rodadura.



## RESUMEN

La mayoría de los procesos industriales generan subproductos que causan impactos al ambiente y representan una pérdida económica al no ser aprovechados, la empresa Siderúrgica de Guatemala (SIDEGUA) dentro de sus procesos de producción genera un subproducto, la escoria de acería que puede ser aprovechada en la construcción como adición o agregados para concretos, mezclas asfálticas y en carreteras. Actualmente la empresa Multiserv procesa este material, de manera de presentarla en tamaños adecuados para su aprovechamiento y comercialización, en países como México, Argentina, Colombia se usan desde hace algunos años con resultados satisfactorios en diferentes proyectos.

La región sur del país es vulnerable a desastres naturales que impactan en el estado de la red vial, se puede considerar el uso de este material en el mantenimiento de carreteras lo que ayudaría a mitigar el impacto ambiental que se produce con su acumulación y la extracción de agregados pétreos.

El presente trabajo evaluó el uso de agregado pétreo y escoria de acería en bases y sub base de carreteras, por medio de las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes, de la Dirección General de Caminos, así como una aplicación de prueba que permitió conocer sus ventajas y desventajas en campo, para esto se contó con el apoyo de las empresas SIDEGUA, Multiserv y el Centro de Investigaciones de Ingeniería.



## **OBJETIVOS**

### **General:**

- Estudiar comparativamente el uso de agregado pétreo y escoria de acería en carreteras.

### **Específicos:**

1. Mitigar el impacto ambiental producido en la extracción de agregados pétreos y el manejo de escoria de acería.
2. Ofrecer información sobre el uso de escoria de acería como material de construcción de carreteras.
3. Caracterizar los materiales utilizados de acuerdo a procedimientos y especificaciones de las normas técnicas aplicables.
4. Comparar la escoria de acería con los materiales pétreos utilizados tradicionalmente como agregados en carreteras.



## INTRODUCCIÓN

Las obras públicas constituyen un factor fundamental para impulsar el desarrollo de los países, en su planificación, proyecto, construcción y explotación se deben tener en cuenta tanto consideraciones técnicas, como económicas, sociales y de afección al medio ambiente. Dentro de este tipo de obras, las lineales, además del impacto medioambiental sobre el entorno por sus propias características, requieren cantidades considerables de materiales que en gran parte suelen proceder de explotaciones naturales canteras y graveras que degradan paulatinamente el medio físico.

El presente documento incluye aspectos teóricos sobre carreteras como lo son definición, tipos, elementos y control de calidad en laboratorio y obra, también se presentan conceptos sobre la escoria de acería, entre los que tienen particular importancia su definición, tipos, composición, así también contiene aspectos sobre la escoria a evaluada (SIDEQUA).

En particular la mayoría de las personas interpretan el término “escoria” como material de desecho, excedente, cuya manipulación genera costos, en fin un gran problema. El conocimiento de las propiedades, tanto físicas como químicas de las escorias, ha generado un gran interés por encontrarles usos prácticos, los excelentes resultados obtenidos en las diversas aplicaciones para las escorias de acerías, han proporcionado a la creciente industria siderúrgica una nueva fuente de ingresos y además una disminución de los espacios destinados al almacenamiento de este material considerado un pasivo ambiental.



## **1. CARRETERAS**

### **1.1. Definición**

Vía de comunicación que por lo general mantiene la autoridad gubernamental o regional para el paso de vehículos, personas o animales. Las carreteras se pueden clasificar en varias categorías y según la importancia de los centros de población que comunican.

### **1.2. Tipos**

Algunos acostumbran denominar caminos a las vías rurales, mientras que el nombre de carreteras se lo aplican a los caminos de características modernas destinadas al movimiento de un gran número de vehículos. La carretera se puede definir como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada.

En la práctica vial se pueden distinguir varias clasificaciones, como por transitabilidad, por su aspecto administrativo y oficial.

#### **1.2.1. Clasificación por su transitabilidad**

Corresponde a las etapas de construcción de las carreteras y se dividen en:

- **Terracerías:** cuando se ha construido una sección de proyecto hasta su nivel de subrasante transitable en tiempo de secas.

- **Revestida:** cuando sobre la subrasante se ha colocado ya una o varias capas de material granular y es transitable en todo tiempo.
- **Pavimentada:** cuando sobre la subrasante se ha construido ya totalmente el pavimento.

### **1.2.2. Clasificación administrativa**

Por el aspecto administrativo las carreteras se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Estatales:** quedan a cargo de las autoridades de caminos.
- **Vecinales o rurales:** cuando son construidos por la cooperación de los vecinos beneficiados y el estado.
- **Concesionadas:** como las autopistas o carreteras concesionadas a la iniciativa privada por tiempo determinado, siendo la inversión recuperable a través de cuotas de paso.

**Figura 1. Autopista**



Fuente: Tomada por el autor.



### **1.2.3. Clasificación oficial**

Esta clasificación permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino, ya que toma en cuenta los volúmenes de tránsito sobre este al final del periodo económico y las especificaciones geométricas aplicadas.

- Centroamericanas
- Nacionales
- Departamentales
- Caminos rurales
- Caminos municipales

**Figura 2. Pavimento de adoquín**



Fuente: Tomada por el autor.

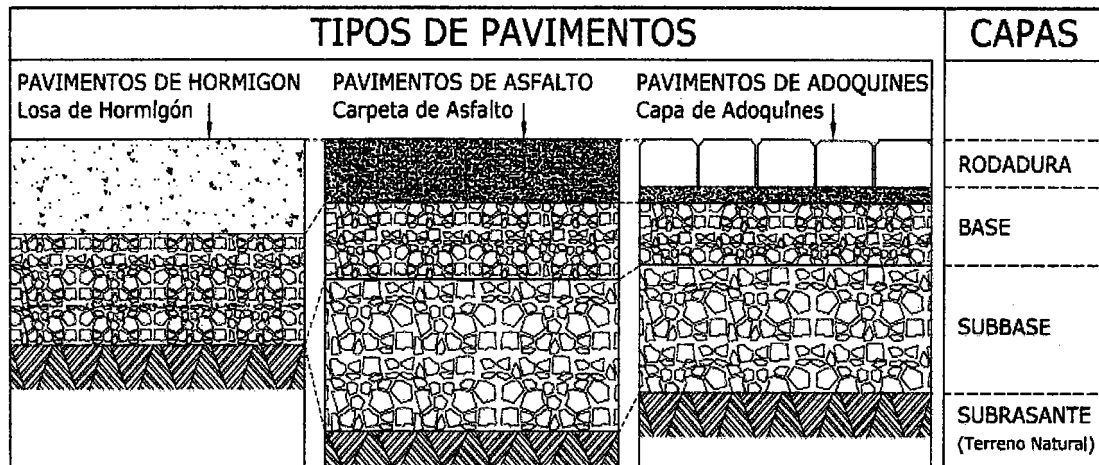
### **1.3. Materiales**

El pavimento puede ser rígido (permitiendo poca latitud de flexión) o flexible. El pavimento flexible utiliza una mezcla de agregado grueso o fino (piedra machacada, grava y arena) con material bituminoso obtenido del asfalto o petróleo, y de los productos de la hulla. Esta mezcla es compacta, pero lo bastante plástica para absorber grandes golpes y soportar un elevado volumen

de tráfico pesado. Los pavimentos rígidos se construyen con una mezcla de cemento Portland y agregados grueso y fino.

El espesor del pavimento puede variar de 15 a 45 cm, dependiendo del volumen de tráfico que deba soportar, y a veces se utiliza un refuerzo de acero para evitar la formación de grietas. Bajo el pavimento se emplea arena o grava fina como base para reforzarlo.

**Figura 3. Tipos de pavimentos**



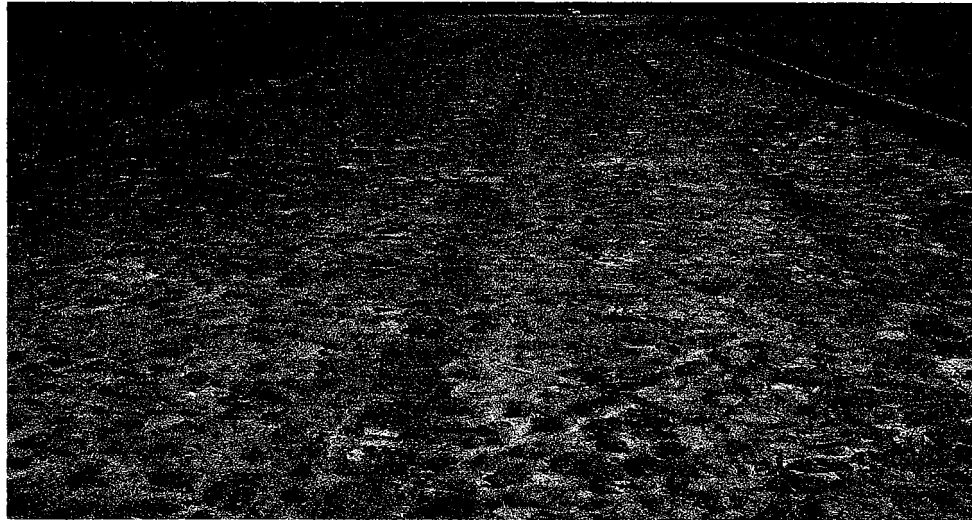
Fuente: Elaborada por el autor.

#### 1.4. Características

Se trata de una carretera convencional o de una autopista, existe una serie de elementos que aparecen de modo casi constante en ambos tipos. La parte principal e irremplazable de la vía es la zona de rodadura o calzada, superficie pavimentada, otras estructuras asociadas son las bermas, que consisten en bandas de terreno despejado destinadas a mantener la calzada libre de sólidos que pudieran obstaculizar la circulación de vehículos, como posibles piedras caídas de taludes. Las cunetas pueden servir también a este fin aunque estén diseñadas realmente con otro objetivo, que es el drenaje

efectivo de la carretera y evitar también la entrada de agua desde el exterior; las cunetas se integran dentro de un sistema más complejo denominado drenaje.

**Figura 4. Pavimento de piedra**



Fuente: Tomada por el autor.

### **1.4.1. Elementos de un tramo carretero**

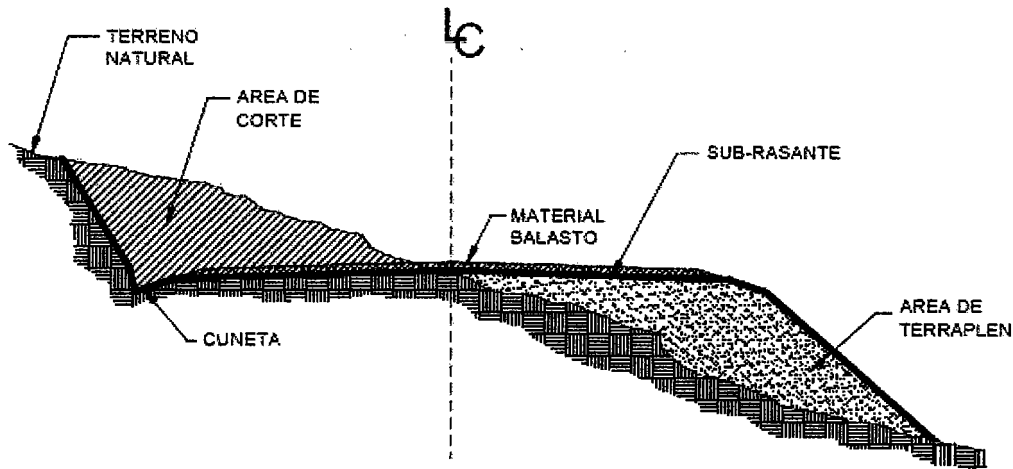
#### **1.4.1.1. Secciones típicas**

Es la representación gráfica transversal y acotada mostrada en los planos, que indica las partes componentes de una carretera. Los elementos de sección transversal de un camino incluyen la superficie de rodamiento (terracería), los acotamientos, la pendiente transversal (bombeo), los taludes, y donde son aplicables las fajas centrales, barreras, barras de protección y las cunetas.

#### **1.4.1.2. Ancho de rodadura**

El ancho de rodadura está en función del tipo de carretera, llamada también ancho de calzada.

**Figura 5. Componentes de sección típica :**



Fuente: Elaborada por el autor.

#### **1.4.1.3. Pendiente transversal**

Es la pendiente que se le da a la corona en dirección perpendicular al eje de la carretera y sigue su relación con los elementos del alineamiento horizontal, las pendientes que se deben mantener en una carretera son las siguientes:

- Para terrenos llanos el 10 %.
- Para terreno ondulado el 12 %.
- Para terrenos montañosos el 14 %.
- Pendiente mínima recomendada 2.0 % para drenaje longitudinal.

#### **1.4.1.4. Tangentes**

Tangente Horizontal: es la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas, así la tangente es la longitud comprendida entre el fin de una curva anterior (PT) y el principio de la siguiente (PC), estarán definidas por su longitud y su azimut.

Tangente vertical: se caracteriza por su longitud y su pendiente y las limitantes de dos curvas sucesivas en la cual su longitud y su distancia medida entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente, su pendiente es la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de la misma. La pendiente gobernadora es la pendiente media que teóricamente puede darse a la línea de sub-rasante para dominar un desnivel determinado en función de las características del tránsito y de la topografía del terreno, y la pendiente máxima para terrenos montañosas se puede utilizar de 14 %.

#### **1.4.1.5. Drenaje**

Las obras de drenaje son elementos estructurales que eliminan la inaccesibilidad de un camino, provocada por el agua o la humedad.

- Drenaje superficial: se construye sobre la superficie del camino o terreno, con funciones de captación, salida, defensa y cruce, algunas obras cumplen con varias funciones al mismo tiempo.
- Drenaje transversal: su finalidad es permitir el paso transversal del agua sobre un camino, sin obstaculizar el paso.

#### **1.4.1.6. Material balasto**

Es un material clasificado que se coloca sobre la sub-rasante terminada de una carretera, con el objeto de protegerla y de que sirva de superficie de rodadura.

### **1.5. Procesos constructivos**

Las variables más importantes a tener en cuenta en la ingeniería de caminos moderna son la inclinación de la tierra sobre la que se construye la

carretera, la capacidad del pavimento para soportar la carga esperada, la predicción de la intensidad de uso de la carretera, la naturaleza del suelo que la sostiene y la composición y espesor de la estructura de pavimentación.

- **Movimiento de tierras**
- **Retiro de estructuras, servicios existentes y obstáculos:** consiste en el retiro total o parcial de las estructuras, servicios existentes y obstáculos, las excavaciones y rellenos compactados que sean necesarios; la recuperación y utilización de los materiales, artefactos u otros bienes y la protección de las estructuras, servicios existentes y obstáculos que deban permanecer en su lugar.
- **Limpia, chapeo y destronque:** son las operaciones previas al inicio de los trabajos de terracería y otros (chapeo, tala, destronque, remoción y eliminación), con el objeto de eliminar toda clase de vegetación existente.
- **Excavación estructural:** son las operaciones de excavar y rellenar y demás trabajos necesarios para cimentar o colocar las estructuras consideradas en el proyecto.
- **Acarreo:** es el transporte de materiales provenientes del corte y de préstamo (para ser utilizados en la construcción de terraplenes), así como el transporte del material de desperdicio.
- **Preparación de la rasante, sub base, base.**
- **Colocación de capa de rodadura, otros (uso de explosivos, selección de materiales).**

**Figura 6. Pavimento colapsado, suelo inestable**



Fuente: Tomada por el autor.

### **1.5.1. Control de calidad**

Todos los materiales deben evaluarse, lo que involucra la realización de muestreos, pruebas, repetición de pruebas y criterios de rechazo, antes de la finalización del trabajo. Las fuentes de materiales deben ubicarse lo más pronto posible para así facilitar su inspección, en Guatemala las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes, de la Dirección General de Caminos, son las de uso legal, se basan en normas de la AASHTO, ASTM, GSA, hay dos tipos de muestras:

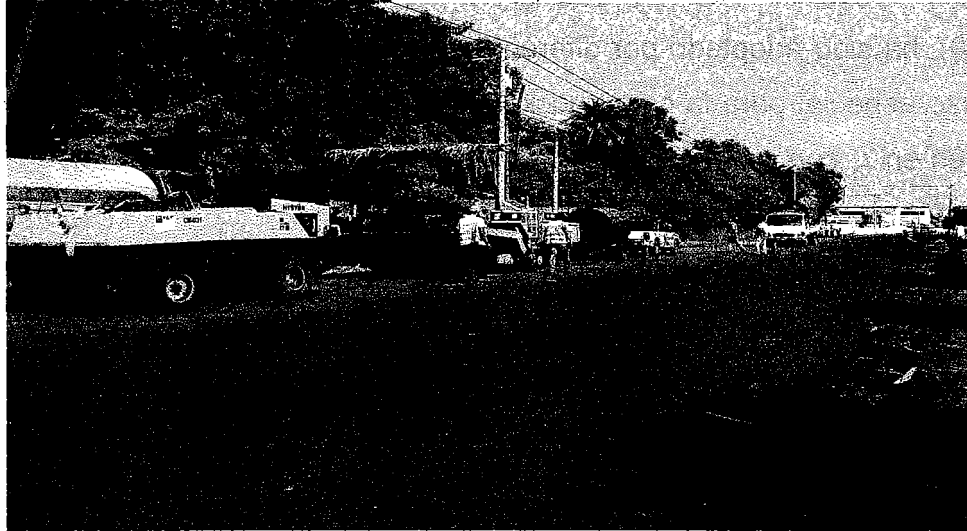
- Inalteradas (se conserva la estructura del suelo).
- Alteradas: se usan más porque interesa la textura del suelo, las pruebas se realizan en campo o bien en laboratorios especializados de acuerdo a sus características, antes o durante el desarrollo del proyecto.

El propósito de los ensayos de laboratorio (clasificación y cuantitativos) es obtener los datos básicos que permitan clasificar los suelos y determinar sus propiedades, para propósitos de materiales de carreteras los principales ensayos son:

- Graduación (AASHTO T-11 y T-27): se trata de determinar la textura del suelo, es decir, el %, en peso, que hay de cada una de las partículas de diferente tamaño que conforman el suelo.
- Límite líquido (AASHTO T-89), Índice plástico (AASHTO T-90): la forma de un suelo depende de la cantidad de agua que hay en él (al faltar agua el suelo disminuye su tamaño).
- Compactación (AASHTO T-180 y T-191): es un proceso natural/mecánico por el cual el suelo disminuye su densidad seca. Al aplicar mayor humedad hay mayor densidad, hasta el punto donde aumenta la humedad y disminuye la densidad
- CBR, valor soporte de California (AASHTO T-93): mide la característica que tiene para soportar cargas, es decir, de que circulen vehículos por encima de él. Cuanto mayor sea la capacidad de carga hay menor posibilidad de que se destruya el camino.
- Ensayo de abrasión, máquina de los ángeles (AASHTO T-96): evalúa la resistencia de un material a ser desgastado, friccionado y triturado, al desgastarse las partículas disminuyen su tamaño.



**Figura 7. Carretera en construcción**



Fuente: Tomada por el autor.

### **1.5.2 Clasificación de suelos**

El perfil de suelo designa una sección o un corte vertical de suelo, cuya descripción o esquema revela la disposición y el aspecto de las partes constituyentes. Los factores que influyen el desarrollo de un suelo son: clima, topografía, organismos, roca madre y el tiempo (edad). En el caso de los suelos para carreteras se agrupan en base a la semejanza en sus comportamientos, sobre la base de ensayos de granulometría y plasticidad principalmente.

#### **1.5.2.1 Sistema unificado de clasificación (SUC)**

Inicialmente se tienen suelos granulares o finos, según se distribuye el material que pasa el tamiz de 75 mm (3"), el suelo es fino cuando más del 50 % del material pasa el tamiz No. 200, si no es granular. Este sistema fue propuesto por Arturo Casagrande (1942), ha sido adoptado por diferentes instituciones y actualmente es de amplio uso a nivel mundial.

### 1.5.2.2 Clasificación de la AASHTO

Este sistema fue desarrollado por el Departamento de Caminos de EEUU (1929), ha sido adoptado por diferentes instituciones entre ellas la AASHTO. De uso especial para la construcción de carreteras, los grupos de suelos se dividen en 7, con subdivisiones hasta llegar a un total de 12.

**Figura 8. Equipo de construcción de carretera**



Fuente: Tomada por el autor.

## **2. ESCORIA DE ACERÍA**

### **2.1 Definición**

La escoria de acería es un agregado rugoso de origen mineral que flota sobre el acero en el crisol de los hornos de arco eléctrico para fundir metales, separado por gravedad, y procede de la parte menos pura de estos unida con las gangas y fundentes, formada fundamentalmente por calcio, ferrita, combinados con oxido fundido de hierro, aluminio y silicato de magnesio, que aparece en el proceso de producción de arrabio y acero y en la fundición de metales como el cobre, el plomo o el níquel.

### **2.2 Usos en construcción**

En términos de porcentaje, la proporción de escoria generada respecto de la materia prima utilizada no es constante, para las fundiciones no ferrosas se obtiene un promedio de 10 % de escoria (variando de 2 a 30%). Para las fundiciones ferrosas, el porcentaje promedio de escoria generada respecto a la chatarra ingresada al proceso es del 12% (variaciones entre un 4,5 y un 24%), depende del tipo de horno de fusión utilizado y de la calidad de la materia prima. Durante el proceso de formación de la escoria, se forman cristales con ligas muy fuertes similares a los procesos de vitrificación, por lo que posteriormente no pueden liberarse elementos de su matriz, convirtiéndola en un material reutilizable. Dentro de los principales usos se encuentran:

- **Materia prima en la construcción:** Material ideal para balasto de vías férreas, bases y sub-bases granulares de carreteras, pavimentos asfálticos, tratamientos superficiales y sellos.

- **Fabricación de gaviones:** Material ideal para relleno de gaviones debido a que la granulometría y tamaño pueden ser producidos de acuerdo a los requerimientos de la obra.
- **Relleno o nivelación de terrenos:** Se reduce al mínimo el uso de compactadores ya que el equipo por si mismo compacta el material al valor del diseño.
- **Terraplenes:** Posee excelentes propiedades mecánicas que facilitan buena estabilidad.
- **Fabricación de cemento y agregados de concretos:** Su adherencia con el cemento asfáltico es muy buena, con la salvedad que no es recomendable su uso en ciertos hormigones debido al contenido de MgO.
- **Bancos de estabilización para controlar la erosión:** El excelente ángulo de reposo del material permite taludes negativos estables.
- **Antideslizantes para el control de nieve y hielo:** Por su textura rugosa y angular producen superficies de rodamiento antiderrapante.
- **Acondicionamiento de suelos:** Mejor comportamiento ante el efecto del agua, debido a la inexistencia de fracción fina plástica en las escorias.
- **Controlar altas temperaturas:** Por sus propiedades térmicas es el agregado idóneo para soportar temperaturas altas por mayor tiempo para lagunas de enfriamiento.

**Figura 9. Escoria de acería**



Fuente: Tomada por el autor.

## **2.2.1 Usos en carreteras**

### **2.2.1.1 Tratamientos superficiales**

- Su alto y permanente valor de coeficiente de roce proporciona mayor agarre entre el pavimento y los cauchos, provocando menor posibilidad de patinaje.
- Permanencia del color oscuro, obteniendo mayor visibilidad de la de marcación horizontal.
- Por su excelente afinidad hacia el asfalto es decir se obtiene mayor adherencia, logra la “cementación o adhesión” de una manera muy rápida no desprendiéndose de la superficie de tratamiento ante el efecto del tráfico.

### **2.2.1.2 Bases granulares**

- Bajo costo al comparar con cualquier otro material pétreo de la zona, debido a que no hay que perforar, dinamitar ni triturar la escoria y puesto el material en planta tiene un costo de Q 25.00/m<sup>3</sup> comparado con el agregado grueso (piedrín) que puesto el material en obra tiene un costo de Q 150.00/m<sup>3</sup>
- Excelente valor de CBR (150% - 200% CBR en la escoria contra 85% - 100% CBR en la piedra picada), lo cual significa mayor durabilidad ante una misma intensidad de cargas y espesor de construcción, o la posibilidad de reducir el espesor de la capa de base así como las capas de asfalto sobre la escoria ante un diseño determinado.
- Permanencia de la estabilidad de la base granular, debido a la mayor resistencia mecánica de la escoria, menor producción de finos durante la compactación en obra.
- Mejor comportamiento ante el efecto del agua, debido a la inexistencia de fracción fina plástica en las escorias.

### **2.2.2 Otros**

- Balasto de ferrocarril.
- Superficie de rodamiento en caminos y estacionamientos.

**Figura 10. Aplicación de escoria de acería en carreteras**



Fuente: Tomada por el autor.

## **2.3 Tipos**

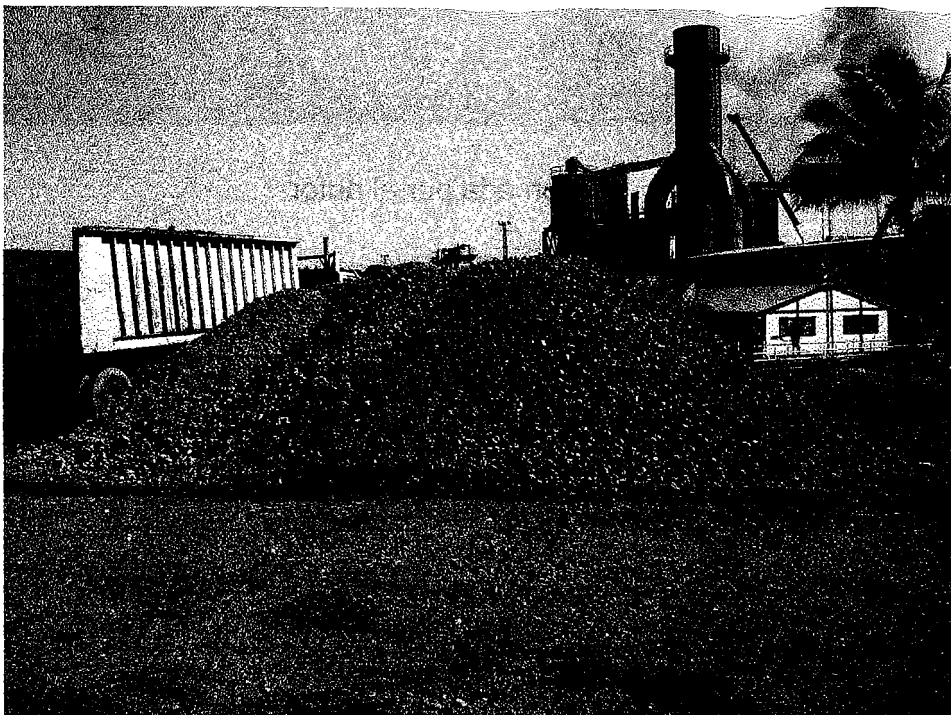
### **2.3.1 Escoria de altos Hornos (AH)**

Se produce al reducirse los óxidos de hierro al convertirse en arrabio líquido de rápido enfriamiento su utilidad comúnmente es en fabricación de cemento.

### **2.3.2 Escoria de Aceración (HAE)**

Escoria de horno eléctrico es el material de origen industrial procedente de la fabricación de acero en hornos de arco eléctrico que se forma durante el proceso de fusión, afino, o elaboración del acero y que se separa de él debido a su menor peso específico. Este material cuando está en estado sólido es un excelente agregado para la construcción de carreteras y vías férreas, pueden presentar marcadas diferencias entre sí, debido a la naturaleza del proceso, tipo de carga, inclusive el tipo de acero producido.

**Figura 11. Escoria de horno de arco eléctrico**



Fuente: Tomada por el autor.



### 2.3.3 Otras

- Escoria generada en la producción de acero por medio de convertidor básico al oxígeno (BOF).
- Escoria generada en la refinación del acero por medio de horno de olla (HO).
- Escoria generada en la producción de ferroaleaciones por medio de horno de arco sumergido (HAS).

## 2.4 Composición química

La composición química de las escorias usualmente se expresa en términos referentes a óxidos simples, la forma mineralógica de las escorias y las proporciones relativas de estos compuestos son muy dependientes del proceso de fabricación del acero y la manera en que son enfriadas, los compuestos predominantes son silicatos de calcio, el aluminato de calcio, calcio, magnesio, óxido férrico, algo cal libre y magnesio libre.

**Tabla I. Composición mineralógica  
Escoria de horno de arco eléctrico**

Análisis mineralógico escoria de horno de arco eléctrico (típica)	
Mineral	Contenido (%) Volumen
Sílice	45.3
Wuestita	22.6
Larnita	21.8
Merwinita	3.0
Portlandita	0.3
Brownmillerita	4.8
Ghelenita	2.3
Total	100.0

Fuente: Boletín Heckett Multiserv.

**Tabla II. Composición química escorias**

Composición típica escorias (% volumen)					
Compuesto	HAE	Horno olla	Alto horno	Aceración con BOF	Ferro-aleaciones
SiO <sub>2</sub>	8-30	5-30	32-42	10-15	30/44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-27	18-44	7-16	< 2	9/9
Fe <sub>3</sub>	10-18	--	1-1.5	1-20	0.8/0.8
CaO	13-38	40-64	32-48	44-50	20/18
MgO	4-15	5-10	5-15	1-9	20/18
S	0.02-2	0.04-2	1-2	0.5-1	--
MnO	0.1- 6.5	0.1-2	< 1	< 4	17/9
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< 1	< 2	--	< 1	--
Fe total	16-50	< 3	--	--	--
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	< 1	< 1	0.2-1	1-3	--

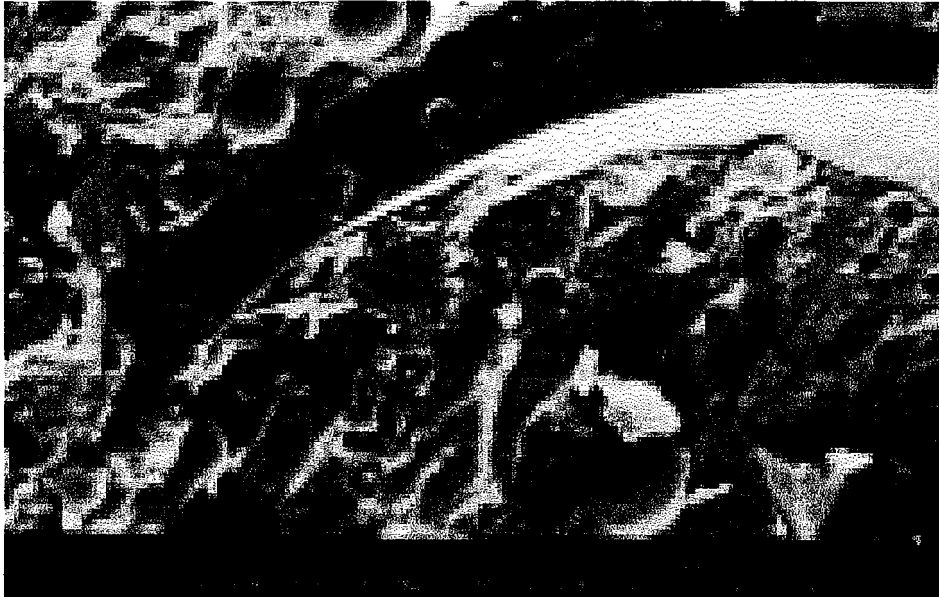
Fuente: Boletín Heckett Multiserv.

## **2.5 Características físicas y mecánicas**

Debido a sus características físicas y mecánicas (tienen textura superficialmente rugosa, forma cubica y angular e internamente cada partícula es de naturaleza vesicular), resulta ser más pesada que la mayoría de agregados y posee gran resistencia a movimientos laterales siendo muy útil en curvas y subidas. Algunas de las propiedades físicas típicas de la escoria de acería son las siguientes: (Fuente: Escorias de acería en obras de viabilidad, Multiserv Harsco)

- Gravedad específica entre 3.2-3.6.
- Peso unitario entre 1600-1920 kg/m<sup>3</sup>.
- Absorción de agua 3%.
- Excelente resistencia a la abrasión (máquina de los Ángeles) entre 17%--30%.
- Dureza entre 6.5-7 escala de Moh's.
- Pérdidas sulfato menores 5%.
- CBR 150% hasta 200%.
- Alta resistencia a la pulimentación.
- Densidad seca proctor modificado de 2.8 Ton/m<sup>3</sup>.
- Humedad entre 5-7% en peso.

**Figura 12. Textura de escoria de acería**



Fuente: Boletín Heckett Multiserv.

## **2.6 Propiedades térmicas**

Se ha observado que los agregados siderúrgicos tienen capacidad de retener el calor en periodos de tiempo considerablemente más largos que los agregados naturales convencionales, esta característica de retención de calor resulta ventajosa en la mezcla de asfalto, conservando la temperatura por mayor tiempo.

## **2.7 Escoria de Siderúrgica de Guatemala (SIDEGUA)**

Empresa que se dedica a la fundición de acero, utiliza hornos de arco eléctrico para sus procesos, en los que se genera escoria que cuando está en estado sólido es un excelente agregado para la construcción de carreteras y vías férreas, pueden presentar marcadas diferencias entre si, debido a la naturaleza del proceso, tipo de carga, inclusive el tipo de acero producido.

### 2.7.1 Volumen de escoria (SIDEGUA)

Se procesan de 10 a 12 coladas diarias, generándose entre 85-100 t/mes de escoria. (2)

**Figura 13. Planta Escuintla SIDEGUA-MULTISERV**



Fuente: Tomada por el autor.

## 2.7.2 Composición de la escoria (SIDEGUA)

**Tabla III. Composición química escoria de horno de arco eléctrico**

Composición química escoria de horno SIDEGUA	
Componente	(%) volumen
CaO	8.6
SiO <sub>2</sub>	21.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.5
FeO	18.9
MgO	46.9
Cr	-

Fuente: Boletín Heckett Multiserv.

### **3. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

#### **3.1. Definición muestra de estudio**

Los agregados en capas granulares juegan un papel importante en la textura, durabilidad y en las cualidades y éxito de las carreteras. Entre las características más importantes a considerar en la selección de un agregado se encuentran la granulometría, el tamaño, limpieza, forma y dureza. El tamaño nominal a seleccionar depende del tipo de intensidad del tráfico y los resultados de los ensayos de laboratorio, de acuerdo a lo indicado en las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes (Libro Azul) de la Dirección General de Caminos.

##### **3.1.1. Material fino (material de relleno)**

Cuando se necesite agregar material de relleno, en adición al que se encuentra naturalmente en el material, para proporcionarle características adecuadas de granulometría y cohesión, éste debe estar libre de impurezas y consistir en un suelo arenoso, polvo de roca, limo inorgánico u otro material con alto porcentaje de partículas que pasan el tamiz 200 mm (N° 10). Se usó el material disponible en el sitio de la aplicación en campo, de acuerdo a sus características físicas.

##### **3.1.2. Material granular**

El material de sub-base o base debe consistir en piedra o grava mezcladas con material de relleno, de manera que el producto obtenido, corresponda a uno de los tipos de graduación estipulados. Los materiales de

las capas se escogen según su costo y disponibilidad, se utilizaron agregado pétreo y escoria de acería.

**Tabla IV. Graduaciones B1 y B2 para material de sub-base o base granular  
Dirección General de Caminos**

% que pasa	Tamiz No.								
	2"	1 ½"	1"	¾"	⅝"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
B <sub>1</sub>		100	-	60-90	-	30-60	-	-	5-15
B <sub>1</sub>		100	-	-	-	20-50	-	-	3-10

% que pasa el tamiz 0.075 mm (No. 200), debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz 0.425 mm (No. 40).

La utilización de escorias en capas granulares (siempre y cuando cumplan con las especificaciones aplicables) es posible dada su dureza y forma, el material adecuadamente tratado (molido, con separación de metales y clasificado), permite esqueletos minerales resistentes, con una elevada capacidad portante para transmitir las cargas del tráfico a las capas inferiores sin deformarse.

### 3.1.2.1. Características agregado pétreo

- Procedencia: Planta trituradora AGREGUA, Escuintla
- Tipo de explotación: cantera
- Presentación: fragmentos de rocas (tamaños grava)
- Tamaño máximo nominal 2.54 cm (1")
- Color: gris, gris claro.
- Nombre: Basálto.
- Utilidad práctica: agregados para concretos flexibles y rellenos estructurales.



### 3.1.2.2. Características escoria de SIDEGUA

De acuerdo al catálogo Europeo de residuos, la escoria de acería de arco eléctrico se clasifica como residuo no tóxico ni peligroso, además se le considera como un residuo inerte, el material presenta las siguientes características técnicas, las que son de utilidad en la construcción de carreteras:

- Textura superficialmente rugosa.
- Forma cubica y angular.
- Internamente cada partícula es de naturaleza vesicular.

La muestra se obtuvo en los patios de la empresa Multiserv, ubicada dentro de la planta SIDEGUA (km 65 carretera antigua al Puerto de San José municipio de Masagua departamento de Escuintla), con un tamaño máximo nominal de 2.54 cm (1").

**Figura 14. Escoria de acería, Planta SIDEGUA**



Fuente: Tomada por el autor.

## **3.2. Caracterización de materiales**

### **3.2.1. Preparación de muestras**

Los materiales fueron trasladados al Centro de Investigaciones de Ingeniería para su evaluación, se siguió el procedimiento adecuado para preparar las muestras necesarias.

### **3.2.2. Caracterización de materiales**

Se efectuó en las Secciones de Concreto y Mecánica de suelos, con el apoyo de su personal especializado. Los materiales se clasificaron de acuerdo al tipo de suelo y su comportamiento para propósitos de su uso en base y sub-base.

#### **3.2.2.1. Material granular**

Se realizaron ensayos de acuerdo a lo indicado en las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes Dirección General de Caminos (libro azul).

- Desgaste Abrasión (AASHTO T-96)
- Graduación (AASHTO T-27 y T-11)
- Plasticidad y Cohesión
- Compactación (AASHTO T-180 y T-191)
- CBR, valor soporte de California (AASHTO T-193)

### **3.2.2.2. Material relleno**

Se realizaron ensayos de acuerdo a lo indicado en las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes Dirección General de Caminos (libro azul).

- Granulometría (AASHTO T-11, T-27)
- Límite líquido y plástico (AASHTO T-89, T-90)
- Compactación (AASHTO T-180, T-191)
- CBR valor soporte de California (AASHTO T-193)
- Equivalente de Arena (AASHTO T-176)

### **3.2.2.3. Mezcla material granular y de relleno (MRAP, MREA)**

De acuerdo a las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes Dirección General de Caminos, y los resultados de los materiales granulares y de relleno, se realizó una mezcla de 80 % material granular (pétreo y escoria) y 20 % de material de relleno, a la que le fueron evaluados los siguientes parámetros:

- Graduación (AASHTO T-27 y T-11)
- Compactación (AASHTO T-180 y T-191)
- CBR, valor soporte de California (AASHTO T-93)
- Límite líquido y plástico (AASHTO T-89, T-90)

**Tabla V. Resultados materiales para sub-base y base**

<b>Caracterización de materiales</b>			
<b>Ensayo</b>	<b>Material granular</b>		<b>Especificación aplicable</b>
	<b>Mezcla de 80% escoria, 10% selecto, 10% limo</b>	<b>Mezcla de 80% pedrín, 10% selecto, 10% limo</b>	
<b>Granulometría (AASHTO T-11, T-27)</b>	<b>Tipo B 38.1mm máx</b>	<b>Tipo B 38.1mm máx</b>	<b>Tipo de acuerdo tabla 304-1, tamaño máximo</b>
<b>Límite líquido y plástico (AASHTO T-89, T-90)</b>	----	----	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de plasticidad &gt; 6 sub-base y base</li> <li>• Límite líquido &gt; 25 sub-base y base</li> </ul>
<b>Compactación (AASHTO T-180, T-191)</b>	<b>156.1 lb/p³ 100%</b>	<b>155.8 lb/p³ 100%</b>	<b>Proctor Modificado</b>
<b>CBR (AASHTO T-93)</b>	<b>83.1 %</b>	<b>78.8 %</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mínimo de 40 (sub-base) y de 70 (base) sobre muestra saturada, a 95% de compactación</li> <li>• Hinchamiento máximo de 0.5%</li> </ul>
<b>Equivalente de Arena (AASHTO T-176)</b>	-	-	<b>&lt; 30</b>

Fuente: Elaborada por el autor.

### **3.3. Aplicación en campo**

Los valores considerados para los espesores de la subbase y base en la aplicación, son de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y las tablas correspondientes al método de diseño de pavimentos rígidos de la PCA.

#### **3.3.1. Ubicación**

- Municipio de Masagua, Departamento de Escuintla.
- Tipo de terreno donde se colocaran los materiales (clasificación de suelos y profundidad de cada estrato).
- Dimensiones 2 x 2 metros, profundidad ----

#### **3.3.2. Diseño de espesores (Método de la Asociación del Cemento Pórtland)**

La determinación de los espesores de las capas (base, subbase, capa de rodadura) y de sus materiales se conoce como diseño del pavimento, dependen del tránsito que va a soportar el pavimento, de la dureza del suelo y de los materiales con que se van a construir estas capas; deben tener la suficiente calidad para que el pavimento soporte el peso del tránsito, durante un tiempo determinado, sin deformarse ni deteriorarse. En la versión actual del método de la PCA, se han introducido numerosos cambios con respecto a la anterior, su filosofía básica es la de la denominada "Ley de *Miner*", formulada por dicho investigador en 1945. Cada pavimento tiene una cierta resistencia a la fatiga frente a las tensiones de tipo mecánico provocadas por las distintas cargas. Después de la selección previa del tipo de concreto, el tipo de base necesaria, el espesor de diseño se determina en función de los siguientes factores:

- Clasificación suelo sitio de la aplicación (valor CBR, densidad óptima).
- Resistencia a flexo tracción del concreto (módulo de ruptura MR): generalmente se utiliza el resultado de este ensayo a los 28 días.  $MR = 0.15 f'c = 42.0 \text{ kg/cm}^2$  (600 PSI).
- Capacidad de soporte conjunta de la subrasante y base (módulo de reacción k): valor definido por el módulo Westergard de reacción de la subrasante, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada entre la deflexión, en pulgadas para dicha carga. Dado que la prueba de carga de plato es larga y costosa, este valor usualmente se calcula por correlación simple, como el CBR o la prueba del valor K. Puesto que las variaciones de este valor no afectan considerablemente el espesor del pavimento no es necesaria su determinación exacta.
- Período de diseño, usualmente 20 años.
- Tráfico: se determina sumando los vehículos pesados que pasan por ésta, en un día y en ambas direcciones. Se recomienda sumar los que pasan durante una semana y dividir los resultados por siete, para tener un promedio diario

### **3.3.2.1. Terreno de fundación**

De acuerdo al tipo de suelo en el lugar de la aplicación, se pueden aplicar los siguientes criterios:

- Si el terreno de fundación es inestable, debe desecharse el material que lo compone siempre que sea posible, y sustituirse este por un suelo de mejor calidad.

- Si el terreno de fundación es malo, habrá que colocar una sub-base de material seleccionado antes de colocar la base.
- Si el terreno de fundación es regular o bueno, podría prescindirse de la sub-base.

El suelo en el lugar de la aplicación se considera adecuado para propósitos de la evaluación del uso de agregados pétreo y escoria de acería.

**Tabla VI. Tipos de suelos subrasante y valores aproximados de k**

TIPOS DE SUELO	SOPORTE	RANGO DE VALORES DE K (PCI)
Suelos de grano fino, en el cual el tamaño de partículas de limo y arcilla predomina.	Bajo	75 – 120
Arenas y mezclas de arena con grava, con una cantidad considerada de limo y arcilla.	Medio	130 – 170
Arenas y mezclas de arena con grava, relativamente libre de finos.	Alto	180 - 220
Sub-base tratadas con cemento.	Muy alto	250 - 400

Fuente: Boletín Heckett Multiserv.

**Tabla VII. Valores de k para diseño sobre bases granulares (PCA)**

Valor de K de la subrasante lbs/plg	Valores de K sobre la base lbs/plg <sup>3</sup>			
	Espesor 4 pulg.	Espesor 6 pulg.	Espesor 9 pulg.	Espesor 12 pulg.
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Fuente: Boletín Heckett Multiserv.

### **3.3.2.2. Espesor sub-base (después de la compactación)**

Depende del tipo de suelo en el sitio de aplicación y los criterios de diseño considerados. El material de la sub-base debe ser seleccionado y tener mayor capacidad de soporte que el terreno de fundación compactado, puede ser arena, grava, escoria de altos hornos o residuos de material de cantera.

- Módulo de ruptura MR de  $0.15 f_c$  (600 PSI)
- Resistencia de la subrasante (K): de acuerdo al tipo de suelo (arena limo arcillosa) se tiene valor para K PCI (medio) de 150.0.
- Se utilizará una sub base con un espesor de 10 centímetros.

### **3.3.2.3. Espesor base (después de la compactación)**

Depende del tipo de suelo en el sitio de aplicación y los criterios de diseño considerados.

- Módulo de ruptura MR de  $0.15 f_c$  (600 PSI)
- Resistencia de la subrasante (K): de acuerdo al tipo de suelo (arena limo arcillosa) se tiene valor para K PCI (medio) de 150.0.
- Se utilizará una base con un espesor de 15 centímetros.





al nivel indicado y con las mismas pendientes que va a tener el pavimento, para poder colocar capas de igual espesor en toda el área del pavimento.

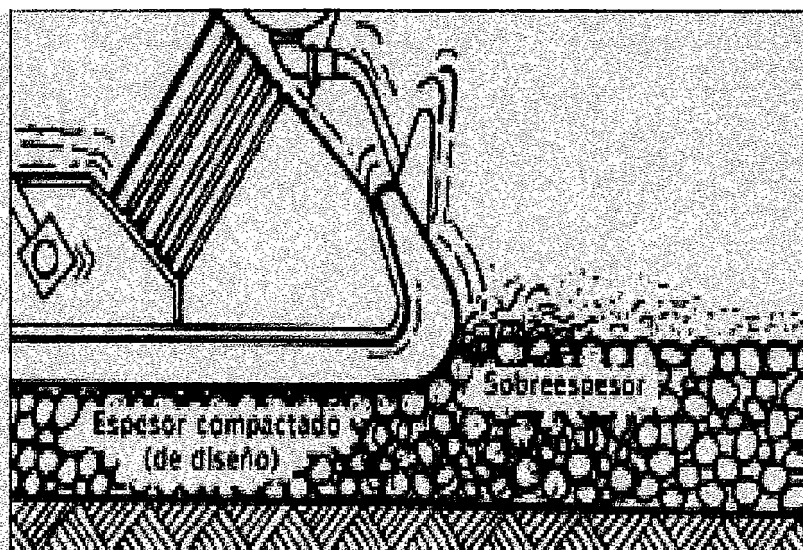
### **3.3.3.2 Sub base**

Se trata de una base de menor calidad ya que al estar más alejada de las cargas del tráfico, estas le llegan más atenuadas. En muchos casos se ha atribuido también a la sub-base una función drenante, en particular cuando las capas inferiores son poco permeables. Su construcción consiste en el suministro, transporte, colocación, sobre la subrasante, conformación y compactación del material granular (arena, grava, escoria de altos hornos o residuos de material de cantera). Se realizan las siguientes actividades:

- Colocación y tendido: el transporte y el manejo de los materiales debe hacerse de la manera más ordenada posible y alcanzar el máximo rendimiento en la construcción.
- Mezcla (material granular y de relleno): se hace en el sitio del proyecto sobre una superficie adecuada.
- Riego de agua: se agrega lentamente la cantidad de agua de acuerdo al diseño, mezclando hasta que su color vuelva a ser homogéneo.
- Conformación y compactación: se hace por capas, hasta el espesor indicado, es necesario que la calidad de los materiales, el espesor en que se coloca y la nivelación de esta capa sean constantes y uniformes. La compactación tiene como objeto acomodar los diferentes tamaños de granos para que la capa quede lo más densa y resistente posible.

- Control de calidad (tolerancia  $\leq 3\%$  compactación): la subbase se construye por capas, de espesor constante en toda el área. Cada una debe quedar completamente terminada (compactada) antes de colocar la siguiente.

**Figura 15. Compactación de material**



Fuente: Escoria Multiserv Harsco.

### 3.3.3.3. Base

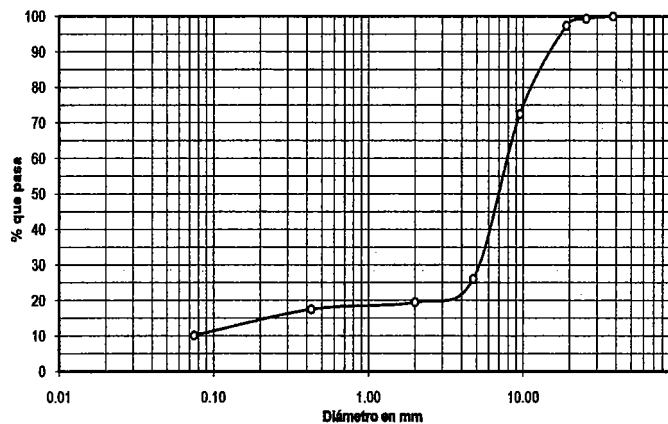
Esta capa tiene por finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y además repartirlos uniformemente a la sub-base y terreno de fundación. Su construcción consiste en el suministro, transporte, colocación, sobre la subbase, conformación y compactación del material granular (arena, grava, escoria de altos hornos o residuos de material de cantera), debe ser seleccionado y tener mayor capacidad de soporte que el terreno de fundación compactado. En su construcción se siguen los criterios indicados para la subbase.



## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Laboratorio

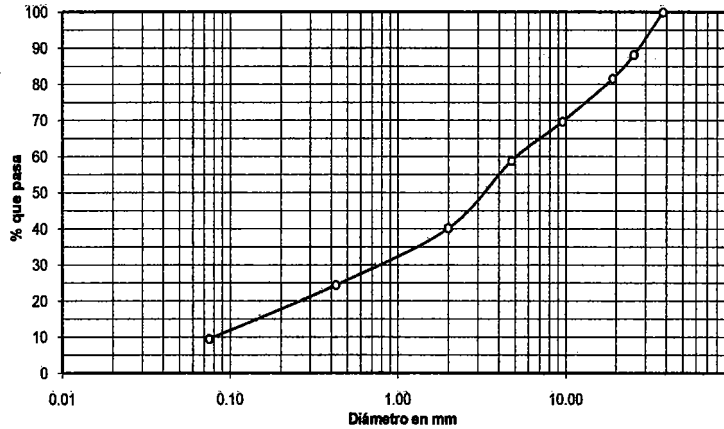
Figura 16. Resultados de granulometría de mezcla de agregado grueso



#### Análisis de resultados de la granulometría de mezcla de agregado grueso:

Los resultados demuestran que la curva granulométrica se encuentra en un rango comprendido entre las curvas de especificaciones como la textura abierta y textura media, lo cual nos da una idea de la composición granulométrica del suelo, indicando que este material está compuesto de partículas de gran variedad de tamaño, este material cumple con las normas de graduación que fueron utilizadas para este ensayo como lo son la AASHTO T-27, T-11, utilizando el tipo "B" con un tamaño máximo de 38.1 mm. (1 ½") y obteniendo un resultado de 73.93 % de grava 15.84 % de arena y 10.23 % de finos. Determinando así que este material si puede ser utilizado para bases y subbases de carreteras.

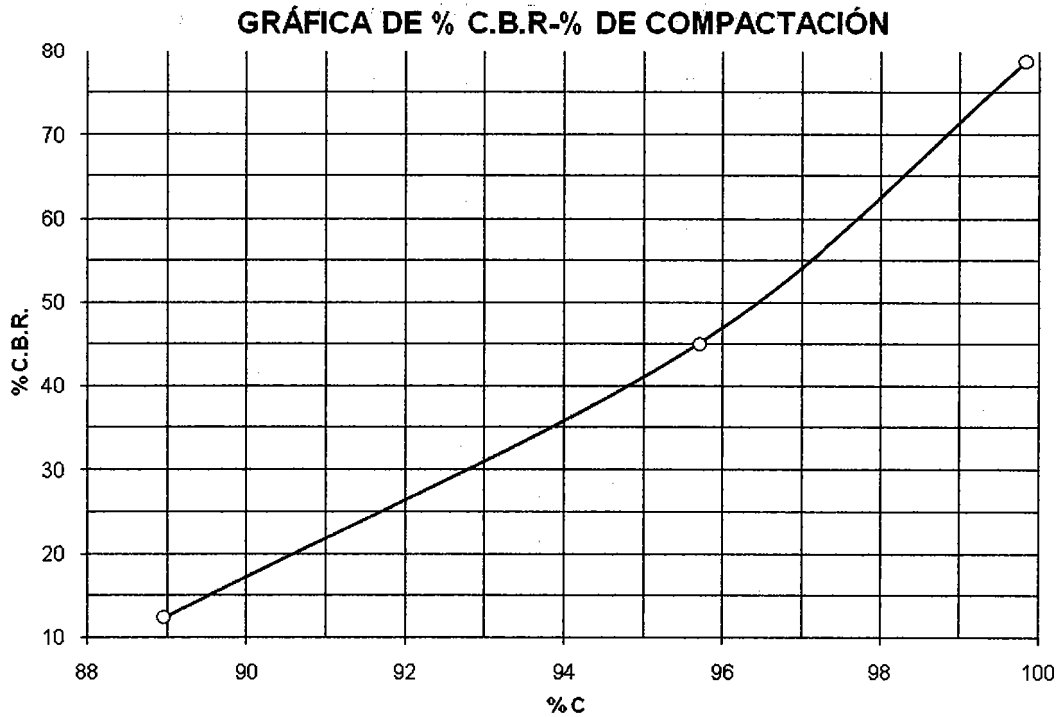
**Figura 17. Resultados de granulometría de mezcla de escoria de acería**



**Análisis de resultados de la granulometría de mezcla de escoria de acería:**

Estos resultados demuestran que la curva granulométrica tiene un comportamiento similar al de la textura media de las especificaciones de curva de materiales bien graduados que al ser compactados darán un mínimo de vacíos, lo cual nos da una idea de la composición granulométrica del suelo, indicando que este material está compuesto de partículas de gran variedad de tamaño, este material cumple con las normas de graduación que fueron utilizadas para este ensayo como lo son la AASHTO T-27, T-11, utilizando el tipo "B" con un tamaño máximo de 38.1 mm. (1 ½") y obteniendo un resultado de 41.15 % de grava, 49.34 % de arena y 9.51 % de finos. Determinando así que este material si puede ser utilizado para bases y subbases de carreteras.

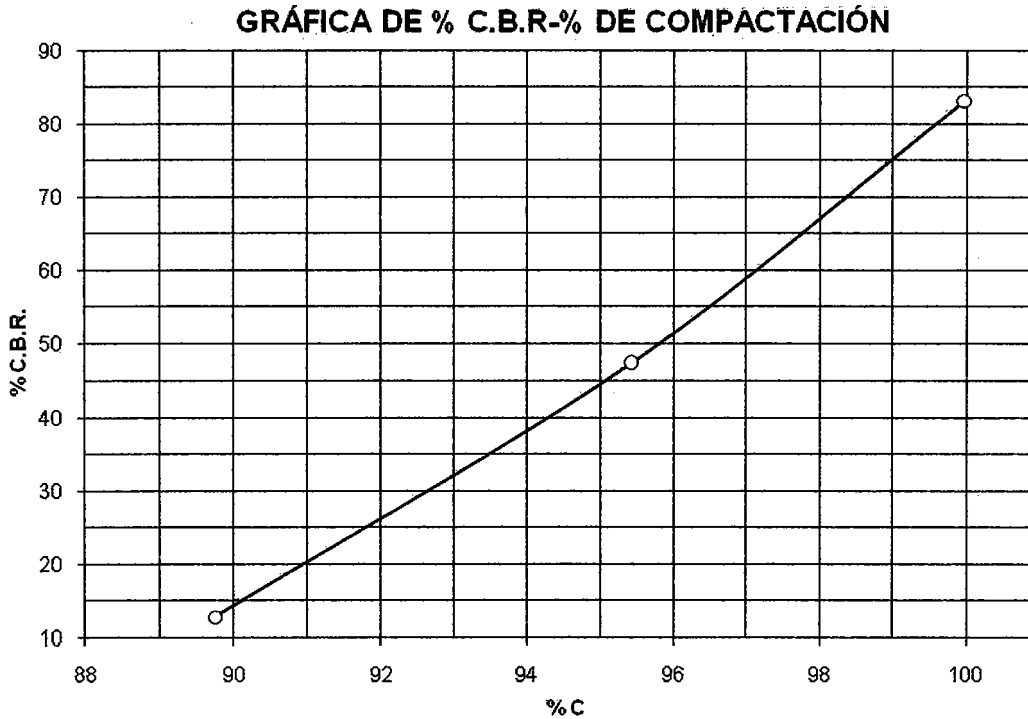
**Figura 18. Resultados de CBR de mezcla de agregado grueso**



**Análisis de resultados de CBR de mezcla de agregado grueso:**

Los resultados del cálculo del valor relativo de soporte del suelo (CBR), demuestran que la prueba estuvo bien ejecutada y que las cargas registradas para cada una de las penetraciones cumple con los resultados deseados para un CBR, ya que este se encuentra entre un rango de 50 - 80 % de CBR clasificándolo como una base buena, cumpliendo con las normas como la AASHTO T – 193, indicando el empleo apropiado para base de carreteras.

**Figura 19. Resultados de CBR de mezcla de escoria de acería**

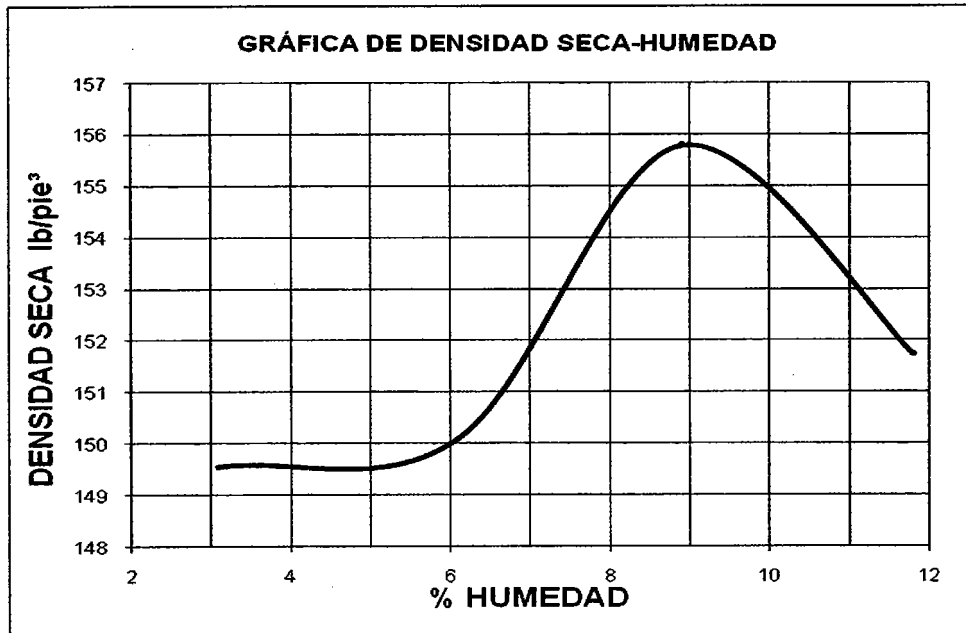


**Análisis de resultados de CBR de mezcla de escoria de acería:**

Los resultados del cálculo del valor relativo de soporte del suelo (CBR), demuestran la prueba estuvo bien ejecutada y que las cargas registrada para cada una de las penetraciones cumple con los resultados deseados para un CBR, ya que este se encuentra entre un rango pasado del 80 % de CBR clasificándolo como una base buena, cumpliendo con las normas como la AASHTO T – 193, indicando el apropiado para base de carreteras.



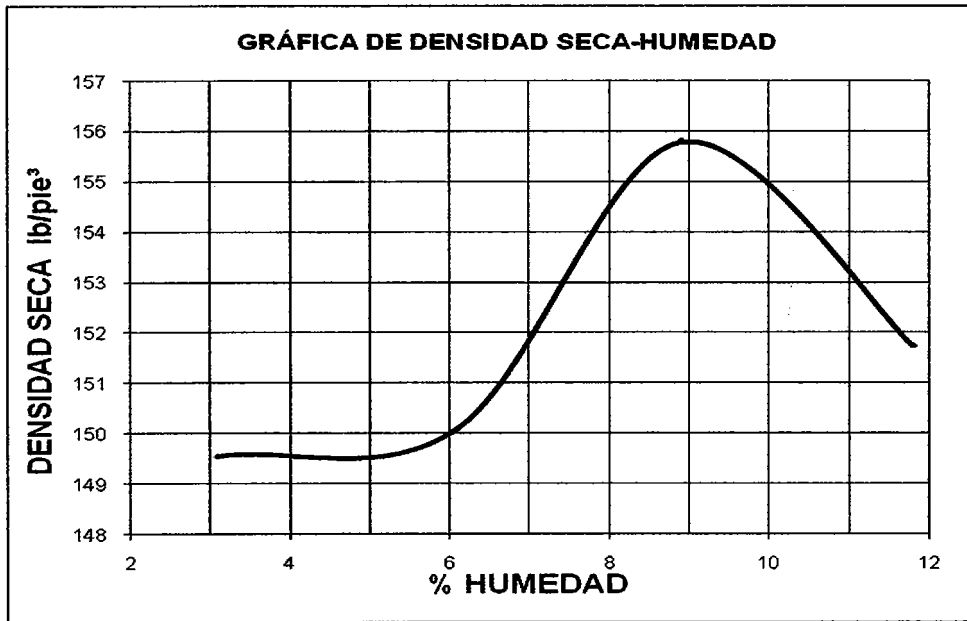
**Figura 20. Resultados de proctor de mezcla de agregado grueso**



**Análisis de resultados de proctor de mezcla de agregado grueso:**

Los resultados de la prueba de proctor demuestran que la curva peso volumétrico seco humedad, determinan el punto máximo que se le denomina humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo teniendo como resultado una humedad óptima del 9 % contra una densidad seca máxima de 155.8 lb/p<sup>3</sup>. cumpliendo con las normas internacionales AASHTO T – 180 y T – 191.

**Figura 21. Resultados de proctor de mezcla de escoria de acería**



**Análisis de resultados de proctor de mezcla de escoria:**

Los resultados de la prueba de proctor demuestran que la curva peso volumétrico seco humedad, determinan el punto máximo que se le denomina humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo teniendo como resultado una humedad óptima del 9 % contra una densidad seca máxima de 156.1 lb/p<sup>3</sup>. Cumpliendo con las normas internacionales AASHTO T – 180 y T – 191.

**Figura 22. Resultados de L.L, I.P de mezcla de a.g**

L.L %	I.P %
0.0	0.0

De acuerdo a los resultados del límite líquido(L.L) y el límite plástico (L.P) la mezcla de agregado grueso, no presenta la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite sin romperse, debido a que esta mezcla no presenta ningún tipo de suelo como la arcilla que es la que generalmente indica el índice de plasticidad.

**Figura 23. Resultados de L.L, I.P de mezcla escoria**

L.L %	I.P %
0.0	0.0

De acuerdo a los resultados del límite líquido(L.L) y el límite plástico (L.P) la mezcla de agregado grueso, no presenta la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, debido a que esta mezcla no presenta ningún tipo de suelo como la arcilla que es la que generalmente indica el índice de plasticidad.



## **CONCLUSIONES**

1. En el ensayo realizado de la curva granulométrica para la mezcla de agregado grueso se puede concluir que este se encuentra en un rango comprendido entre las curvas de especificaciones como la textura abierta y textura media, obteniendo como resultado un material que cumple con las normas de graduación que fueron utilizadas para este ensayo como lo son la AASHTO T-27, T-11. Determinando así que este material si puede ser utilizado para bases y subbases de carreteras.
2. La curva granulométrica para la mezcla de escoria de acería representa un comportamiento muy similar al de las curvas de especificaciones como la textura media, obteniendo como resultado un material que cumple con las normas de graduación que fueron utilizadas para este ensayo como lo son la AASHTO T-27, T-11. Reconociendo que este material si puede ser utilizado para bases y subbases, tomando en cuenta que ambos tienen sus ventajas y desventajas al ser utilizados en proyectos de construcción de carreteras.
3. Los resultados del análisis para el cálculo del valor relativo de soporte del suelo (CBR), de la mezcla de agregado grueso, demuestran que la prueba estuvo bien ejecutada, ya que este se encuentra entre un rango de 50 - 80 % de CBR clasificándolo como una base buena, cumpliendo con las normas como la AASHTO T – 193, el cual tiene un uso apropiado para base de carreteras.

4. En el análisis del cálculo del valor relativo de soporte del suelo (CBR), de la mezcla de escoria de acería, demuestran que los valores del 80% de CBR son óptimos para utilizar este material como base y subbase de carreteras según lo indica la norma AASHTO T – 193.
5. En el análisis de la prueba de proctor de la mezcla de agregado grueso, demuestran que como resultado del ensayo se obtuvo una humedad óptima del 9 % contra una densidad seca máxima de 155.8 lb/p<sup>3</sup>. Cumpliendo con las normas internacionales AASHTO T – 180 y T – 191.
6. Los resultados de la prueba de proctor de la mezcla de escoria de acería, demuestran que la curva peso volumétrico seco humedad, determinan el punto máximo que se le denomina humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo teniendo como resultado una humedad óptima del 9 % contra una densidad seca máxima de 156.1 lb/p<sup>3</sup>. Cumpliendo con las normas internacionales AASHTO T – 180 y T – 191.
7. Los resultados de el límite líquido (L.L) y el límite plástico (L.P) que se obtuvieron de la mezcla de agregado grueso, y de la mezcla de escoria de acería no demuestran en los ensayos realizados, tener algunas propiedades que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite sin romperse, debido a que esta mezcla no presenta ningún tipo de suelo como la arcilla que es la que generalmente indica el índice de plasticidad.

8. Un producto íntegramente de escoria de acería asegura la calidad de las bases y sub-bases y elimina el riesgo de degradar el ambiente debido a que la escoria se produce siempre que hay colada de acero y no se utilizan técnicas como en las de la extracción de agregados gruesos las cuales necesitan técnicas como perforación, uso de explosivos, consumo de combustibles fósiles, creando a lo largo de la obra zonas de préstamos de material y la consecuente afectación de los espacios naturales.





## **RECOMENDACIONES**

1. Para el estudio presentado se utilizaron materiales locales, como el limo y la ceniza de volcán (selecto). Se recomendaría hacer un estudio con otro tipo de materiales, para que la granulometría puede ser más variada, y observar como es el comportamiento al hacer otro diseño de mezcla de agregado grueso y de mezcla de escoria de acería.
2. Los resultados de CBR para ambas mezclas son óptimos, por lo tanto se recomienda el uso de estos materiales, para utilizarlos como bases y subbases de carreteras.
3. Evaluar otras aplicaciones de la escoria de acería en procesos constructivos como bases y sub-bases para vías férreas y aeropuertos, ya que con los resultados obtenidos del ensayo de compactación se pudo determinar que las mezclas de agregado grueso y las mezclas de escoria, son de utilidad para bases en carreteras.
4. Impulsar la investigación y reutilización de los subproductos con características de materiales pétreos, que se generan en la industria.
5. Tomar en cuenta experiencias de obras ejecutadas en distintos países de América Latina, que han utilizado escoria de acería para proyectos de bases y sub-bases.

1. *Introduction*

2. *Background*

3. *Methodology*

4. *Results*

5. *Discussion*

6. *Conclusion*

7. *References*

8. *Appendix*

9. *Index*

10. *Notes*

11. *Footnotes*

12. *Endnotes*

13. *Supplementary Material*

14. *Tables*

15. *Figures*

16. *Equations*

17. *Formulas*

18. *Diagrams*

19. *Flowcharts*

20. *Tables*

21. *Figures*

22. *Equations*

23. *Formulas*

24. *Diagrams*

25. *Flowcharts*

26. *Tables*

27. *Figures*

28. *Equations*

29. *Formulas*

30. *Diagrams*

31. *Flowcharts*

32. *Tables*

33. *Figures*

34. *Equations*

35. *Formulas*

36. *Diagrams*

37. *Flowcharts*

38. *Tables*

39. *Figures*

40. *Equations*

41. *Formulas*

42. *Diagrams*

43. *Flowcharts*

44. *Tables*

45. *Figures*

46. *Equations*

47. *Formulas*

48. *Diagrams*

49. *Flowcharts*

50. *Tables*

51. *Figures*

52. *Equations*

53. *Formulas*

54. *Diagrams*

55. *Flowcharts*

56. *Tables*

57. *Figures*

58. *Equations*

59. *Formulas*

60. *Diagrams*

61. *Flowcharts*

62. *Tables*

63. *Figures*

64. *Equations*

65. *Formulas*

66. *Diagrams*

67. *Flowcharts*

68. *Tables*

69. *Figures*

70. *Equations*

71. *Formulas*

72. *Diagrams*

73. *Flowcharts*

74. *Tables*

75. *Figures*

76. *Equations*

77. *Formulas*

78. *Diagrams*

79. *Flowcharts*

80. *Tables*

81. *Figures*

82. *Equations*

83. *Formulas*

84. *Diagrams*

85. *Flowcharts*

86. *Tables*

87. *Figures*

88. *Equations*

89. *Formulas*

90. *Diagrams*

91. *Flowcharts*

92. *Tables*

93. *Figures*

94. *Equations*

95. *Formulas*

96. *Diagrams*

97. *Flowcharts*

98. *Tables*

99. *Figures*

100. *Equations*

101. *Formulas*

102. *Diagrams*

103. *Flowcharts*

104. *Tables*

105. *Figures*

106. *Equations*

107. *Formulas*

108. *Diagrams*

109. *Flowcharts*

110. *Tables*

111. *Figures*

112. *Equations*

113. *Formulas*

114. *Diagrams*

115. *Flowcharts*

116. *Tables*

117. *Figures*

118. *Equations*

119. *Formulas*

120. *Diagrams*

121. *Flowcharts*

122. *Tables*

123. *Figures*

124. *Equations*

125. *Formulas*

126. *Diagrams*

127. *Flowcharts*

128. *Tables*

129. *Figures*

130. *Equations*

131. *Formulas*

132. *Diagrams*

133. *Flowcharts*

134. *Tables*

135. *Figures*

136. *Equations*

137. *Formulas*

138. *Diagrams*

139. *Flowcharts*

140. *Tables*

141. *Figures*

142. *Equations*

143. *Formulas*

144. *Diagrams*

145. *Flowcharts*

146. *Tables*

147. *Figures*

148. *Equations*

149. *Formulas*

150. *Diagrams*

151. *Flowcharts*

152. *Tables*

153. *Figures*

154. *Equations*

155. *Formulas*

156. *Diagrams*

157. *Flowcharts*

158. *Tables*

159. *Figures*

160. *Equations*

161. *Formulas*

162. *Diagrams*

163. *Flowcharts*

164. *Tables*

165. *Figures*

166. *Equations*

167. *Formulas*

168. *Diagrams*

169. *Flowcharts*

170. *Tables*

171. *Figures*

172. *Equations*

173. *Formulas*

174. *Diagrams*

175. *Flowcharts*

176. *Tables*

177. *Figures*

178. *Equations*

179. *Formulas*

180. *Diagrams*

181. *Flowcharts*

182. *Tables*

183. *Figures*

184. *Equations*

185. *Formulas*

186. *Diagrams*

187. *Flowcharts*

188. *Tables*

189. *Figures*

190. *Equations*

191. *Formulas*

192. *Diagrams*

193. *Flowcharts*

194. *Tables*

195. *Figures*

196. *Equations*

197. *Formulas*

198. *Diagrams*

199. *Flowcharts*

200. *Tables*

201. *Figures*

202. *Equations*

203. *Formulas*

204. *Diagrams*

205. *Flowcharts*

206. *Tables*

207. *Figures*

208. *Equations*

209. *Formulas*

210. *Diagrams*

211. *Flowcharts*

212. *Tables*

213. *Figures*

214. *Equations*

215. *Formulas*

216. *Diagrams*

217. *Flowcharts*

218. *Tables*

219. *Figures*

220. *Equations*

221. *Formulas*

222. *Diagrams*

223. *Flowcharts*

224. *Tables*

225. *Figures*

226. *Equations*

227. *Formulas*

228. *Diagrams*

229. *Flowcharts*

230. *Tables*

231. *Figures*

232. *Equations*

233. *Formulas*

234. *Diagrams*

235. *Flowcharts*

236. *Tables*

237. *Figures*

238. *Equations*

239. *Formulas*

240. *Diagrams*

241. *Flowcharts*

242. *Tables*

243. *Figures*

244. *Equations*

245. *Formulas*

246. *Diagrams*

247. *Flowcharts*

248. *Tables*

249. *Figures*

250. *Equations*

251. *Formulas*

252. *Diagrams*

253. *Flowcharts*

254. *Tables*

255. *Figures*

256. *Equations*

257. *Formulas*

258. *Diagrams*

259. *Flowcharts*

260. *Tables*

261. *Figures*

262. *Equations*

263. *Formulas*

264. *Diagrams*

265. *Flowcharts*

266. *Tables*

267. *Figures*

268. *Equations*

269. *Formulas*

270. *Diagrams*

271. *Flowcharts*

272. *Tables*

273. *Figures*

274. *Equations*

275. *Formulas*

276. *Diagrams*

277. *Flowcharts*

278. *Tables*

279. *Figures*

280. *Equations*

281. *Formulas*

282. *Diagrams*

283. *Flowcharts*

284. *Tables*

285. *Figures*

286. *Equations*

287. *Formulas*

288. *Diagrams*

289. *Flowcharts*

290. *Tables*

291. *Figures*

292. *Equations*

293. *Formulas*

294. *Diagrams*

295. *Flowcharts*

296. *Tables*

297. *Figures*

298. *Equations*

299. *Formulas*

300. *Diagrams*

301. *Flowcharts*

302. *Tables*

303. *Figures*

304. *Equations*

305. *Formulas*

306. *Diagrams*

307. *Flowcharts*

308. *Tables*

309. *Figures*

310. *Equations*

311. *Formulas*

312. *Diagrams*

313. *Flowcharts*

314. *Tables*

315. *Figures*

316. *Equations*

317. *Formulas*

318. *Diagrams*

319. *Flowcharts*

320. *Tables*

321. *Figures*

322. *Equations*

323. *Formulas*

324. *Diagrams*

325. *Flowcharts*

326. *Tables*

327. *Figures*

328. *Equations*

329. *Formulas*

330. *Diagrams*

331. *Flowcharts*

332. *Tables*

333. *Figures*

334. *Equations*

335. *Formulas*

336. *Diagrams*

337. *Flowcharts*

338. *Tables*

339. *Figures*

340. *Equations*

341. *Formulas*

342. *Diagrams*

343. *Flowcharts*

344. *Tables*

345. *Figures*

346. *Equations*

347. *Formulas*

348. *Diagrams*

349. *Flowcharts*

350. *Tables*

351. *Figures*

352. *Equations*

353. *Formulas*

354. *Diagrams*

355. *Flowcharts*

356. *Tables*

357. *Figures*

358. *Equations*

359. *Formulas*

360. *Diagrams*

361. *Flowcharts*

362. *Tables*

363. *Figures*

364. *Equations*

365. *Formulas*

366. *Diagrams*

367. *Flowcharts*

368. *Tables*

369. *Figures*

370. *Equations*

371. *Formulas*

372. *Diagrams*

373. *Flowcharts*

374. *Tables*

375. *Figures*

376. *Equations*

377. *Formulas*

378. *Diagrams*

379. *Flowcharts*

380. *Tables*

381. *Figures*

382. *Equations*

383. *Formulas*

384. *Diagrams*

385. *Flowcharts*

386. *Tables*

387. *Figures*

388. *Equations*

389. *Formulas*

390. *Diagrams*

391. *Flowcharts*

392. *Tables*

393. *Figures*

394. *Equations*

395. *Formulas*

396. *Diagrams*

397. *Flowcharts*

398. *Tables*

399. *Figures*

400. *Equations*

401. *Formulas*

402. *Diagrams*

403. *Flowcharts*

404. *Tables*

405. *Figures*

406. *Equations*

407. *Formulas*

408. *Diagrams*

409. *Flowcharts*

410. *Tables*

411. *Figures*

412. *Equations*

413. *Formulas*

414. *Diagrams*

415. *Flowcharts*

416. *Tables*

417. *Figures*

418. *Equations*

419. *Formulas*

420. *Diagrams*

421. *Flowcharts*

422. *Tables*

423. *Figures*

424. *Equations*

425. *Formulas*

426. *Diagrams*

427. *Flowcharts*

428. *Tables*

429. *Figures*

430. *Equations*

431. *Formulas*

432. *Diagrams*

433. *Flowcharts*

434. *Tables*

435. *Figures*

436. *Equations*

437. *Formulas*

438. *Diagrams*

439. *Flowcharts*

440. *Tables*

441. *Figures*

442. *Equations*

443. *Formulas*

444. *Diagrams*

445. *Flowcharts*

446. *Tables*

447. *Figures*

448. *Equations*

449. *Formulas*

450. *Diagrams*

451. *Flowcharts*

452. *Tables*

453. *Figures*

454. *Equations*

455. *Formulas*

456. *Diagrams*

457. *Flowcharts*

458. *Tables*

459. *Figures*

460. *Equations*

461. *Formulas*

462. *Diagrams*

463. *Flowcharts*

464. *Tables*

465. *Figures*

466. *Equations*

467. *Formulas*

468. *Diagrams*

469. *Flowcharts*

470. *Tables*

471. *Figures*

472. *Equations*

473. *Formulas*

474. *Diagrams*

475. *Flowcharts*

476. *Tables*

477. *Figures*

478. *Equations*

479. *Formulas*

480. *Diagrams*

481. *Flowcharts*

482. *Tables*

483. *Figures*

484. *Equations*

485. *Formulas*

486. *Diagrams*

487. *Flowcharts*

488. *Tables*

489. *Figures*

490. *Equations*

491. *Formulas*

492. *Diagrams*

493. *Flowcharts*

494. *Tables*

495. *Figures*

496. *Equations*

497. *Formulas*

498. *Diagrams*

499. *Flowcharts*

500. *Tables*

501. *Figures*

502. *Equations*

503. *Formulas*

504. *Diagrams*

505. *Flowcharts*

506. *Tables*

507. *Figures*

508. *Equations*

509. *Formulas*

510. *Diagrams*

511. *Flowcharts*

512. *Tables*

513. *Figures*

514. *Equations*

515. *Formulas*

516. *Diagrams*

517. *Flowcharts*

518. *Tables*

519. *Figures*

520. *Equations*

521. *Formulas*

522. *Diagrams*

523. *Flowcharts*

524. *Tables*

525. *Figures*

526. *Equations*

527. *Formulas*

528. *Diagrams*

529. *Flowcharts*

530. *Tables*

531. *Figures*

532. *Equations*

533. *Formulas*

534. *Diagrams*

535. *Flowcharts*

536. *Tables*

537. *Figures*

538. *Equations*

539. *Formulas*

540. *Diagrams*

541. *Flowcharts*

542. *Tables*

543. *Figures*

544. *Equations*

545. *Formulas*

546. *Diagrams*

547. *Flowcharts*

548. *Tables*

549. *Figures*

550. *Equations*

551. *Formulas*

552. *Diagrams*

553. *Flowcharts*

554. *Tables*

555. *Figures*

556. *Equations*

557. *Formulas*

558. *Diagrams*

559. *Flowcharts*

560. *Tables*

561. *Figures*

562. *Equations*

563. *Formulas*

564. *Diagrams*

565. *Flowcharts*

566. *Tables*

567. *Figures*

568. *Equations*

569. *Formulas*

570. *Diagrams*

571. *Flowcharts*

572. *Tables*

573. *Figures*

574. *Equations*

575. *Formulas*

576. *Diagrams*

577. *Flowcharts*

578. *Tables*

579. *Figures*

580. *Equations*

581. *Formulas*

582. *Diagrams*

583. *Flowcharts*

584. *Tables*

585. *Figures*

586. *Equations*

587. *Formulas*

588. *Diagrams*

589. *Flowcharts*

590. *Tables*

591. *Figures*

592. *Equations*

593. *Formulas*

594. *Diagrams*

595. *Flowcharts*

596. *Tables*

597. *Figures*

598. *Equations*

599. *Formulas*

600. *Diagrams*

601. *Flowcharts*

602. *Tables*

603. *Figures*

604. *Equations*

605. *Formulas*

606. *Diagrams*

607. *Flowcharts*

608. *Tables*

609. *Figures*

610. *Equations*

611. *Formulas*

612. *Diagrams*

613. *Flowcharts*

614. *Tables*

615. *Figures*

616. *Equations*

617. *Formulas*

618. *Diagrams*

619. *Flowcharts*

620. *Tables*

621. *Figures*

622. *Equations*

623. *Formulas*

624. *Diagrams*

625. *Flowcharts*

626. *Tables*

627. *Figures*

628. *Equations*

629. *Formulas*

630. *Diagrams*

631. *Flowcharts*

632. *Tables*

633. *Figures*

634. *Equations*

635. *Formulas*

636. *Diagrams*

637. *Flowcharts*

638. *Tables*

639. *Figures*

640. *Equations*

641. *Formulas*

642. *Diagrams*

643. *Flowcharts*

644. *Tables*

645. *Figures*

646. *Equations*

647. *Formulas*

648. *Diagrams*

649. *Flowcharts*

650. *Tables*

651. *Figures*

652. *Equations*

653. *Formulas*

654. *Diagrams*

655. *Flowcharts*

656. *Tables*

657. *Figures*

658. *Equations*

659. *Formulas*

660. *Diagrams*

661. *Flowcharts*

662. *Tables*

663. *Figures*

664. *Equations*

665. *Formulas*

666. *Diagrams*

667. *Flowcharts*

668. *Tables*

669. *Figures*

670. *Equations*

671. *Formulas*

672. *Diagrams*

673. *Flowcharts*

674. *Tables*

675. *Figures*

676. *Equations*

677. *Formulas*

678. *Diagrams*

679. *Flowcharts*

680. *Tables*

681. *Figures*

682. *Equations*

683. *Formulas*

684. *Diagrams*

685. *Flowcharts*

686. *Tables*

687. *Figures*

688. *Equations*

689. *Formulas*

690. *Diagrams*

691. *Flowcharts*

692. *Tables*

693. *Figures*

694. *Equations*

695. *Formulas*

696. *Diagrams*

697. *Flowcharts*

698. *Tables*

699. *Figures*

700. *Equations*

701. *Formulas*

702. *Diagrams*

703. *Flowcharts*

704. *Tables*

705. *Figures*

706. *Equations*

707. *Formulas*

708. *Diagrams*

709. *Flowcharts*

710. *Tables*

711. *Figures*

712. *Equations*

713. *Formulas*

714. *Diagrams*

715. *Flowcharts*

716. *Tables*

717. *Figures*

718. *Equations*

719. *Formulas*

720. *Diagrams*

721. *Flowcharts*

722. *Tables*

723. *Figures*

724. *Equations*

725. *Formulas*

726. *Diagrams*

727. *Flowcharts*

728. *Tables*

729. *Figures*

730. *Equations*

731. *Formulas*

732. *Diagrams*

733. *Flowcharts*

734. *Tables*

735. *Figures*

736. *Equations*

737. *Formulas*

738. *Diagrams*

739. *Flowcharts*

740. *Tables*

741. *Figures*

742. *Equations*

743. *Formulas*

744. *Diagrams*

745. *Flowcharts*

746. *Tables*

747. *Figures*

748. *Equations*

749. *Formulas*

750. *Diagrams*

751. *Flowcharts*

752. *Tables*

753. *Figures*

754. *Equations*

755. *Formulas*

756. *Diagrams*

757. *Flowcharts*

758. *Tables*

759. *Figures*

760. *Equations*

761. *Formulas*

762. *Diagrams*

763. *Flowcharts*

764. *Tables*

765. *Figures*

766. *Equations*

767. *Formulas*

768. *Diagrams*

769. *Flowcharts*

770. *Tables*

771. *Figures*

772. *Equations*

773. *Formulas*

774. *Diagrams*

775. *Flowcharts*

776. *Tables*

777. *Figures*

778. *Equations*

779. *Formulas*

780. *Diagrams*

781. *Flowcharts*

782. *Tables*

783. *Figures*

784. *Equations*

785. *Formulas*

786. *Diagrams*

787. *Flowcharts*

788.

## REFERENCIAS

1. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ( Enero 2010 )
2. [www.infraest-energy-sudamerica.org](http://www.infraest-energy-sudamerica.org) ( Noviembre 2009 )
3. Bowles, Joseph E. **Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil.** México: Editorial McGraw-Hill, 1981.213 pp.
4. [www.termasolution.com](http://www.termasolution.com) ( Febrero 2010 )
5. [www.suelosyescorias.com](http://www.suelosyescorias.com) ( Febrero 2010 )

## QUESTION 1

1. The following table shows the number of people who visited the National Museum in London in each year from 1990 to 2000.
- | Year | Number of visitors (in thousands) |
|------|-----------------------------------|
| 1990 | 1.2                               |
| 1991 | 1.3                               |
| 1992 | 1.4                               |
| 1993 | 1.5                               |
| 1994 | 1.6                               |
| 1995 | 1.7                               |
| 1996 | 1.8                               |
| 1997 | 1.9                               |
| 1998 | 2.0                               |
| 1999 | 2.1                               |
| 2000 | 2.2                               |
2. The following table shows the number of people who visited the British Museum in each year from 1990 to 2000.
- | Year | Number of visitors (in thousands) |
|------|-----------------------------------|
| 1990 | 1.5                               |
| 1991 | 1.6                               |
| 1992 | 1.7                               |
| 1993 | 1.8                               |
| 1994 | 1.9                               |
| 1995 | 2.0                               |
| 1996 | 2.1                               |
| 1997 | 2.2                               |
| 1998 | 2.3                               |
| 1999 | 2.4                               |
| 2000 | 2.5                               |

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bowles, Joseph E. **Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil**. México: Editorial McGraw-Hill, 1981.213 pp.
2. Colegio de Ingenieros de Guatemala. SIDEGUA. **Material seminario Escoria de Siderurgia**. Guatemala 2005.
3. Crespo Villalaz, Carlos. **Mecánica de Suelos y Cimentaciones**. Quinta edición. México: Editorial Limusa, 2005.650 pp.
4. Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. **Especificaciones Generales para Carreteras y Puentes**. Guatemala 2002.
5. Encarta. **Enciclopedia Microsoft. 2007**.
6. Hecket Multiserv. Boletín. 2002.
7. Martirena, José. **Manual de control de calidad**. CIDEM, ECOSUR. 1999.
8. Normas técnicas AASHTO. 2000.
9. Normas técnicas ASTM. 2005.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that proper record-keeping is essential for ensuring transparency and accountability in financial operations. This section also outlines the various methods and tools used to collect and analyze data, highlighting the need for consistency and precision in data collection.

The second part of the document focuses on the analysis of the collected data. It describes the various statistical techniques and models used to interpret the data, including regression analysis, time series analysis, and hypothesis testing. The document also discusses the importance of validating the results of the analysis and ensuring that the conclusions drawn are based on sound statistical principles.

The third part of the document discusses the application of the analysis results to various business and financial decisions. It highlights the importance of using the insights gained from the analysis to inform strategic planning and decision-making. This section also discusses the various challenges and limitations associated with the use of statistical analysis in business and finance, and provides suggestions for how to overcome these challenges.

The fourth part of the document discusses the future of statistical analysis in business and finance. It highlights the various emerging trends and technologies that are expected to shape the future of the field, including artificial intelligence, machine learning, and big data analytics. The document also discusses the importance of staying up-to-date on the latest developments in the field and the need for continuous learning and professional development.

In conclusion, the document emphasizes the importance of statistical analysis in business and finance and provides a comprehensive overview of the various methods and techniques used in the field. It also discusses the challenges and limitations associated with the use of statistical analysis and provides suggestions for how to overcome these challenges. The document is intended to provide a valuable resource for anyone interested in the field of statistical analysis in business and finance.

## **ANEXOS**

1. Informe Sección de Concretos, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, 2009.
2. Informe sección Mecánica de Suelos, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, 2010.

## 2016

1. The first part of the document is a list of the names of the members of the committee who were present at the meeting on the 14th day of the month of June, 1916.

2. The second part of the document is a list of the names of the members of the committee who were absent from the meeting on the 14th day of the month of June, 1916.





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 006825

INFORME No. S.C- 362 O.T. No. 24929

**INTERESADO:** Herber Antonio Enríquez Jimenez. Carné No. 1997-13122

**ASUNTO:** ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASION EN MAQUINA DE LOS ANGELES PARA AGREGADO GRUESO.

**PROYECTO:** Trabajo de Graduacion "Estudio comparativo del uso de agregado pètreo y escoria de aceria en carreteras"

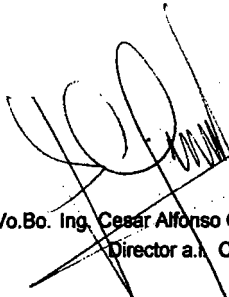
**DIRECCIÒN:** Escuintla

**FECHA:** 29 de abril de 2009

REFERENCIAS	MUESTRAS
1. Norma de Ensayo	1 ASTM C-131
2. Graduación	"B"
3. % Desgaste	28,72

OBSERVACIONES: a) Muestra de de escoria de aceria proporcionada por el interesado.

ATENTAMENTE,

  
Vo.Bo. Ing. Cesar Alfonso García Guerra  
Director a.i. CI/USAC

  
Ing. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Concretos





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 006824**

INFORME No. S.C- 361 O.T. No. 24929

**INTERESADO:** Herber Antonio Enriquez Jimenez. Carnè No. 1997-13122

**ASUNTO:** ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASION EN MAQUINA DE LOS ANGELES PARA AGREGADO GRUESO.

**PROYECTO:** Trabajo de Graduacion "Estudio comparativo del uso de agregado pètroo y escoria de aceria en carreteras"

**DIRECCIÒN:** Escuintla

**FECHA:** 29 de abril de 2009

REFERENCIAS	MUESTRAS
	1
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131
2. Graduación	"B"
3. % Desgaste	52,80

OBSERVACIONES: a) Muestra de agregado grueso proporcionada por el interesado.

ATENTAMENTE,

Vo.Bo. Ing. Cesar Alfonso Garcia Guzman  
Director a.i. CII/USAC



Ing. Dima Yaret Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Concretos



i.c.



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA**

**AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO**

**INTERESADO:**  
Heber Antonio Enrique Jimenez  
Carné No. 1987-13122

**INFORME No.** S.C. - 398

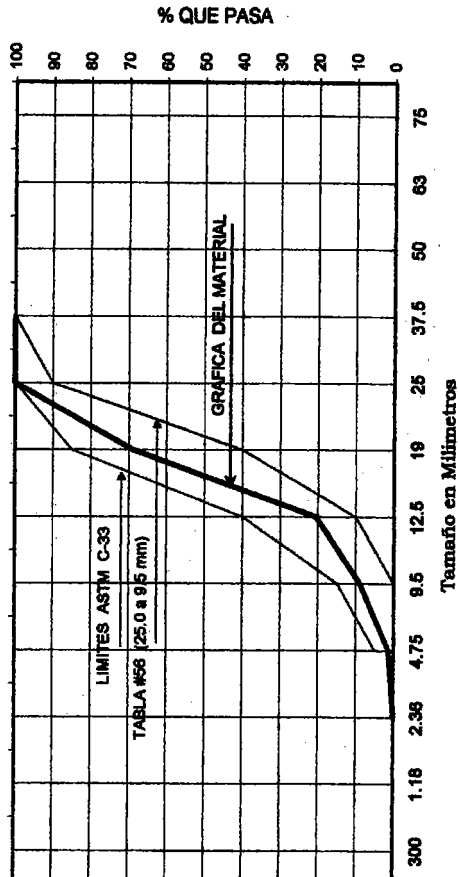
**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Estudio comparativo del uso de agregado petreo y escoria de Acieria en Carreteras"

**Muestra:** Agregado Grueso **Fecha:** 12/05/2009 **O.T. No.** 24928 **Lab.** Concretos

**CARACTERISTICAS FISICAS:**

Peso Especifico	2.53
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1408.05
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1341.43
Porcentaje de Vacios	44.42
Porcentaje de Absorcion	0.60
% Tamiz 200	2.80
% Desgaste por Sulfato de Sodio	
% Desgaste por Abrasion	
% Particulas Planas y alargadas	
% Particulas Livianas	

No.50 No.16 No.8 No.4 3/8" 1/2" 3/4" 1" 1 1/2" 2" 2 1/2" 3"



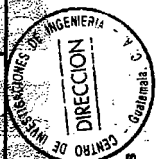
Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8
% Que pasa	100.00	100.00	69.01	20.49	8.91	1.33	0.00

**OBSERVACIONES:**

- a) Muestra proporcionada por el interesado.
- b) Procedencia del agregado: Agregua Sur

Vo.Bo.

Inga. Telma Martela Cano Morales  
Directora CityUSAC



Inga. Diana Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección Agregados y Concretos

EMO



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA**

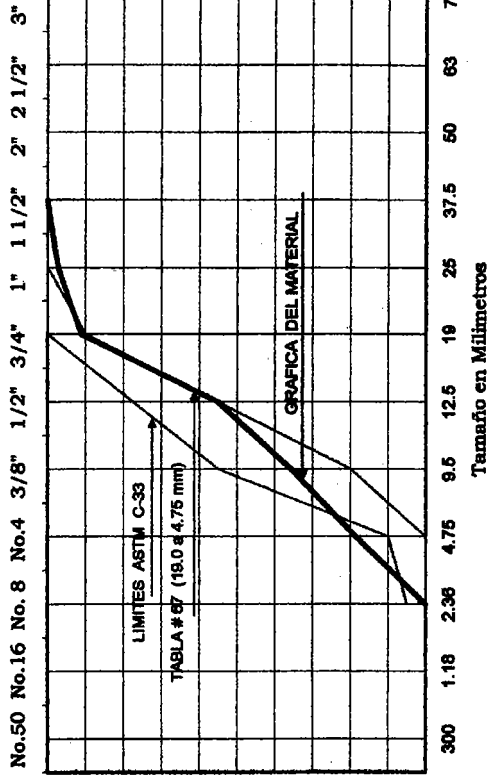


**AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO**

<b>INTERESADO:</b> Heber Antonio Enrique Jimenez Carné No. 1997-13122	<b>INFORME No.</b> S.C. - 397	<b>PROYECTO:</b> Trabajo de Graduación "Estudio comparativo del uso de agregado pétreo y escoria de Acacia en Carreteras"
<b>Muestra:</b> Escoria de Acacia	<b>Fecha:</b> 12/05/2009	<b>O.T. No.</b> 24987
		<b>Lab.</b> Concretos

**CARACTERISTICAS FISICAS:**

Peso Especifico	3.35
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1759.57
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1648.67
Porcentaje de Vacios	47.45
Porcentaje de Absorción	0.34
% Tamiz 200	0.74
% Desgaste por Sulfato de Sodio	
% Desgaste por Abrasión	
% Partículas Planas y alargadas	
% Partículas Livianas	



Tamiz No.	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16
% Que pasa	97.29	91.11	55.11	35.73	18.63	0.00	0.00

**OBSERVACIONES:**

a) Muestra proporcionada por el interesado.

Vo.Bo.

Inga. Telsa Marcela Cano Morales  
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yánet Mejías Jol  
 Jefa Sección Agregados y Concretos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 12593

INFORME No. 051 S.S.

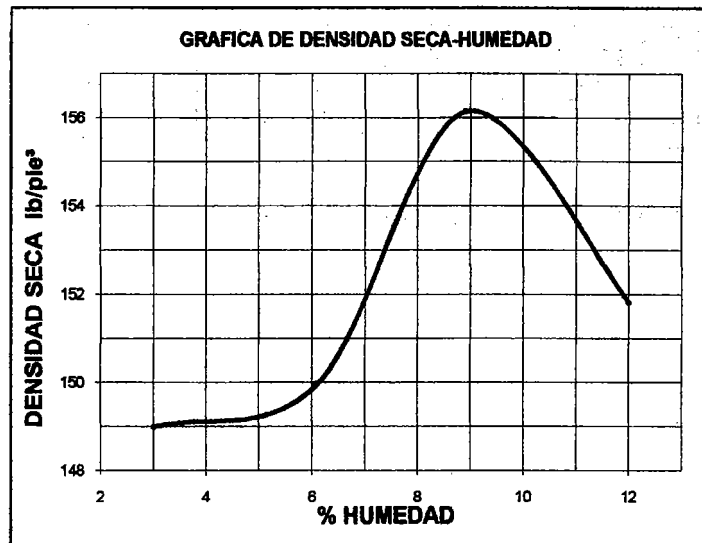
O.T. No.: 25,303

Interesado: Heber Antonio Enríquez Jiménez  
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.

Proctor Estándar: ( ) Norma:  
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180

Proyecto: Tesis-Estudio comparativo del uso de agregado petreo y escoria de acería en carreteras

Fecha: 03 de febrero de 2010



Muestra No.: 2

Descripción del suelo: Mezcla de 80% de escoria SIDEGUA + 10% de selecto Bco. San Joaquin + 10% Limo Finca Mauricio.

Densidad seca máxima  $\gamma_d$ : 2,501 Kg/m<sup>3</sup> 156.1 lb/ft<sup>3</sup>

Humedad óptima  $H_{op}$ : 9.0 %

Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USA



*Omar Enrique Mediano Mendez*  
Ing. Omar Enrique Mediano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



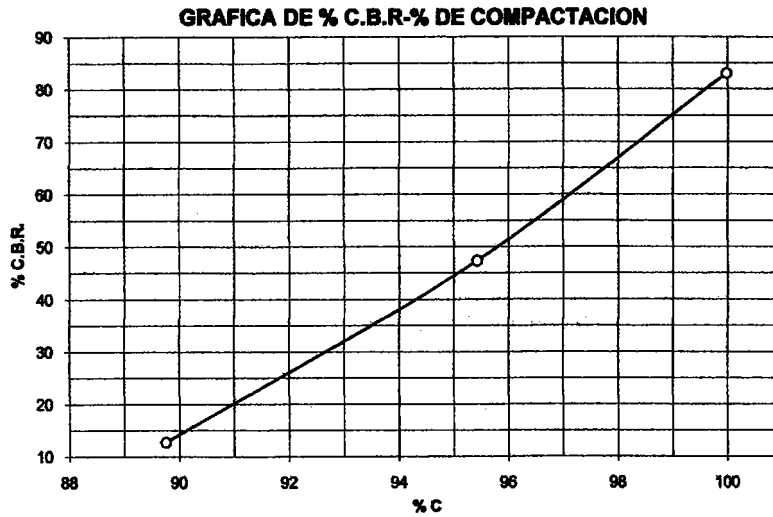
Nº 12594

INFORME No.: 052 S.S.                      O.T. No.: 25,303

Interesado: Heber Antonio Enríquez Jiménez  
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.)                      Norma: A.A.S.H.T.O.T-193  
 Proyecto: Tesis-Estudio comparativo del uso de agregado petreo y escoria de acería en carreteras  
 Descripción del suelo: Mezcla de 80% de escoria SIDEGUA + 10% de selecto Bco. San Joaquin + 10% Limo Finca Mauricio.

Muestra No.: 2  
 Fecha: 03 de febrero de 2010

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	$\gamma_d$ b/pt <sup>3</sup>			
1	10	9.50	140.1	89.7	0.00	12.8
2	30	9.50	149.0	95.4	0.00	47.3
3	65	9.50	156.1	100.0	0.00	83.1



Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Teina Marcela Gano-Morales  
 DIRECTORA CIUSAC

*Omar Enrique Medrano Mendez*  
 Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 12595

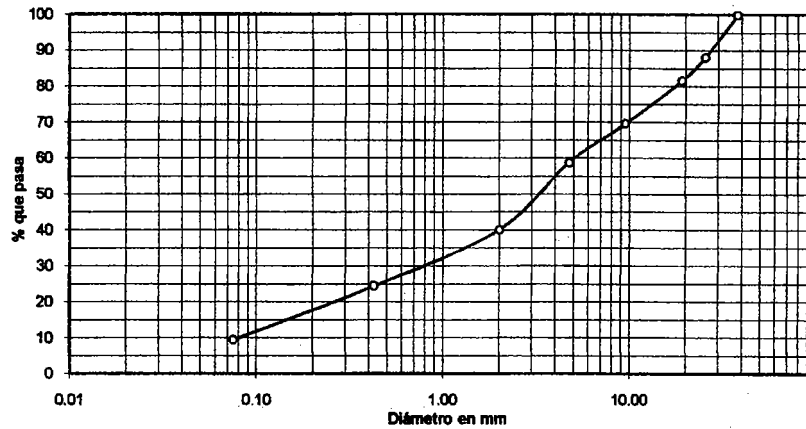
INFORME No. 053 S.S. O.T. No. 25,303

Interesado: Heber Antonio Enríquez Jiménez  
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y con lavado previo.  
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11  
 Proyecto: Tesis-Estudio comparativo del uso de agregado petreo y escoria de acería en carreteras  
 Fecha: 03 de febrero de 2010

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
1 1/2"	38.10	100.00
1"	25.40	88.20
3/4"	19	81.64
3/8"	9.5	69.67
4	4.75	58.85
10	2	40.16
40	0.425	24.43
200	0.075	9.51

% de Grava: 41.15  
 % de Arena: 49.34  
 % de finos: 9.51

Muestra 2



Descripción del suelo: Mezcla de 80% de escoria SIDEGUA + 10% de selecto Bco. San Joaquín + 10% Limo Finca Mauricio.  
 Clasificación: S.C.U.: GW-GM P.R.A.: A-1-a  
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.   
 Inga. Telma Maricela Cano Méndez  
 DIRECTORA CII/USAC



  
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 12597**

INFORME No. 054 S. S. O.T.: 25,303

Interesado: Heber Antonio Enriquez Jiménez  
Proyecto: Tesis-Estudio comparativo del uso de agregado petreo y escoria de acería en carreteras  
Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG  
Norma: AASHTO T-89 Y T-90

FECHA: 03 de febrero de 2010

**RESULTADOS:**

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
2	2	0.0	0.0	SM	Mezcla de 80% de escoria SIDEQUIA + 10% de selecto Bco. San Joaquín + 10% Limo Finca Masurico.

(\*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Marcela Carrero  
DIRECTORA CIVILUSAC



*Omar Enrique Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 12589

INFORME No. 047 S.S.

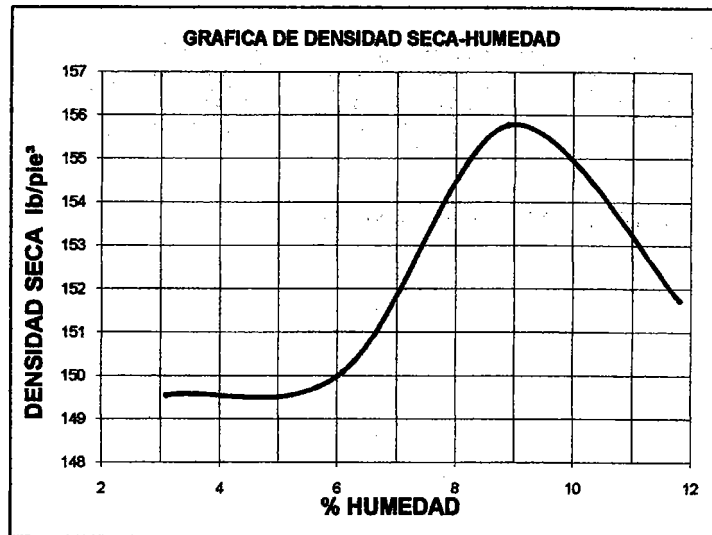
O.T. No.: 25,303

Interesado: Heber Antonio Enríquez Jiménez  
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.

Proctor Estándar: ( ) Norma:  
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180

Proyecto: Tesis-Estudio comparativo del uso de agregado petreo y escoria de acería en carreteras

Fecha: 03 de febrero de 2010



Muestra No.: 1

Descripción del suelo: Mezcla de 80% de pedrin 3/4" AGREGUA + 10% de selecto Bco. San Joaquín + 10% de limo Finca Mauricio.

Densidad seca máxima  $\gamma_d$ : 2,496 Kg/m<sup>3</sup> 155.8 lb/ft<sup>3</sup>

Humedad óptima Hop.: 9.0 %

Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Carrero Morales  
DIRECTORA CII/USAC



*Omar Enrique Medrano Mendez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



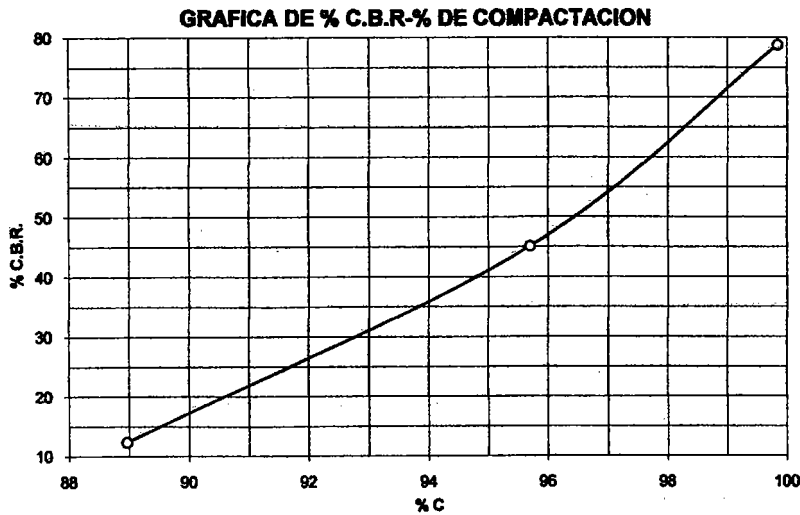
Nº 12590

INFORME No.: 048 S.S. O.T. No.: 25,303

Interesado: Heber Antonio Enríquez Jiménez  
Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O.T-193  
Proyecto: Tesis-Estudio comparativo del uso de agregado petreo y escoria de acería en carreteras  
Descripción del suelo: Mezcla de 80% de piedrin 3/4" AGREGUA + 10% de selecto Bco. San Joaquin + 10% de limo Finca Mauricio.

Muestra No.: 1  
Fecha: 03 de febrero de 2010

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	$\gamma_d$ b/pt <sup>3</sup> )			
1	10	9.20	138.6	89.0	0.00	12.4
2	30	9.20	149.1	95.7	0.00	45.1
3	65	9.20	155.6	99.8	0.00	78.8



Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Teima Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CIUSAC

Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 12591

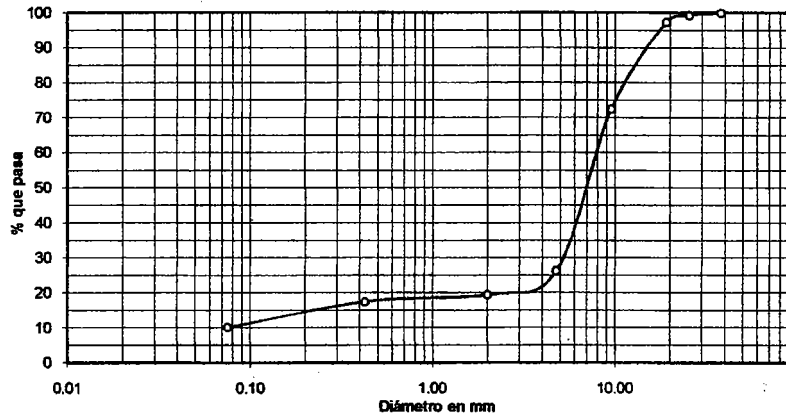
INFORME No. 049 S.S. O.T. No. 25,303

Interesado: Heber Antonio Enríquez Jiménez  
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y con lavado previo.  
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11  
 Proyecto: Tesis-Estudio comparativo del uso de agregado petreo y escoria de acería en carreteras  
 Fecha: 03 de febrero de 2010

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
1 1/2"	38.10	100.00
1"	25.40	99.33
3/4"	19	97.36
3/8"	9.5	72.61
4	4.75	26.07
10	2	19.47
40	0.425	17.49
200	0.075	10.23

% de Grava: 73.93  
 % de Arena: 15.84  
 % de finos: 10.23

Muestra 1



Descripción del suelo: Mezcla de 80% de pedrín 3/4" AGREGUA + 10% de selecto Bco. San Joaquín + 10% de limo Finca Mauricio.  
 Clasificación: S.C.U.: GW-GM P.R.A.: A-1-a  
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.  
 Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC



*Omar Enrique Medrano Méndez*  
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 12592**

INFORME No. 050 S. S. O.T.: 25,303

Interesado: Heber Antonio Enriquez Jiménez  
Proyecto: Tesis-Estudio comparativo del uso de agregado petreo y escoria de acería en carreteras  
Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG  
Norma: AASHTO T-89 Y T-90

FECHA: 03 de febrero de 2010

**RESULTADOS:**

ENSAYO No.	MUESTRA No.	LL (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	0.0	0.0	SM	Mezcla de 80% de piedrin 3/4" AGREGUA + 10% de selecto Sco. San Joaquín + 10% de limo Finca Mauricio.

(\*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.



*Omar E. Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos