



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

**EVALUACIÓN DE LA ESCORIA DE ACERO DE LA PLANTA DE SIDERÚRGICA DE  
GUATEMALA (SIDEGUA), PARA SU USO COMO AGREGADO EN CARRETERAS**

**Alvaro Alberto Ponce López**

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA ESCORIA DE ACERO DE LA PLANTA DE SIDERÚRGICA DE  
GUATEMALA (SIDEGUA), PARA SU USO COMO AGREGADO EN CARRETERAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ALVARO ALBERTO PONCE LÓPEZ**

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

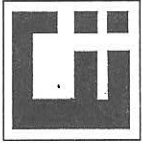
En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DE LA ESCORIA DE ACERO DE LA PLANTA DE SIDERÚRGICA DE GUATEMALA (SIDEGUA), PARA SU USO COMO AGREGADO EN CARRETERAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha febrero de 2014.



**Alvaro Alberto Ponce López**



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



Guatemala, 24 de junio de 2014

Ingeniero  
Guillermo Francisco Melini Salguero  
Área de Materiales y Construcciones Civiles  
COORDINADOR

Ingeniero Melini

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACIÓN DE LA ESCORIA DE ACERO DE LA PLANTA DE SIDERÚRGICA DE GUATEMALA (SIDEGUA), PARA SU USO COMO AGREGADO EN CARRETERAS**, elaborado con el estudiante universitario Alvaro Alberto Ponce López, quien contó con la asesoría de la suscrita.

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

Atentamente,

*"Id y enseñad a todos"*

Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jdl  
Col. 5947  
ASESORA

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



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
4 de agosto de 2014

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación EVALUACIÓN DE LA ESCORIA DE ACERO DE LA PLANTA DE SIDERURGICA DE GUATEMALA (SIDEGUA) PARA SU USO COMO AGREGADO EN CARRETERAS, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Alvaro Alberto Ponce López, quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

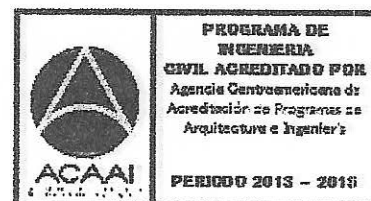
ID Y ENSEÑAD A TODOS

*Guillermo*

~~Ing. Civil Guillermo Francisco Melin Salguero~~  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Cíviles

FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Alvaro Alberto Ponce López, titulado **EVALUACIÓN DE LA ESCORIA DE ACERO DE LA PLANTA DE SIDERURGICA DE GUATEMALA (SIDEGUA) PARA SU USO COMO AGREGADO EN CARRETERAS**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

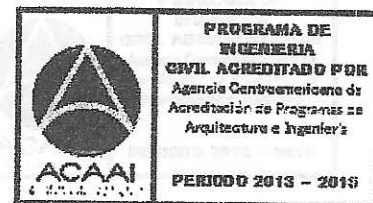
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, agosto 2014.

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 410.2014

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: **EVALUACIÓN DE LA ESCORIA DE ACERO DE LA PLANTA DE SIDERÚRGICA DE GUATEMALA (SIDEGUA), PARA SU USO COMO AGREGADO EN CARRETERAS**, presentado por el estudiante universitario **Alvaro Alberto Ponce López**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 19 de agosto de 2014

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Mis padres** Ronald Roberto Ponce Ponce (q.e.p.d.), Marta Josefina López Valdez, por sus sacrificios, tiempo, consejos y sobre todo el amor que me han dado siempre.
- Mis hijos** Natalia y Gabriel Ponce Cabrera, por ser mi inspiración día a día.
- Mis hermanos** Mónica, Paola, Roberto y Susan Ponce López, gracias por su apoyo.
- Mi familia** Gracias, a todos los que me apoyaron, en especial a mi tío el doctor Álvaro Leonel Ponce Ponce.
- Mis amigos** Hans Barrientos, Marvin López, Ing. Haroldo Lemus, Ricardo Godoy, Omar García, Pedro Archila, Ronal Barrientos, Mario Chen, Mynor Prado, Henry Juárez, Arturo Leal, Nelson Morales. Quienes nunca se imaginaron que saldría de la universidad.
- Mi novia** Licda. Karina Estrada, por su apoyo y amor incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Dios**

Por estar conmigo todos los días de mi vida.

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios.

**Sidegua**

En especial al Ing. Etson Larios por su apoyo.

**Inga. Dilma Mejicanos**

Por su ayuda y el tiempo dedicado para mi trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. SUELOS Y PAVIMENTOS .....	1
1.1. Suelos.....	1
1.1.1. Definición.....	1
1.1.2. Tipos.....	1
1.1.3. Clasificación .....	3
1.1.4. Propiedades .....	4
1.1.5. Ensayos .....	5
1.2. Pavimentos.....	7
1.2.1. Tipos.....	7
1.2.2. Clasificación .....	8
1.2.3. Propiedades .....	9
1.2.4. Materiales .....	9
1.2.5. Componentes de un pavimento.....	10
2. DESCRIPCIÓN DE NORMAS Y ALCANCE DE LAS NORMAS .....	13
2.1. AASHTO T 89. Método de prueba estándar para determinar el límite líquido de suelos.....	14
2.2. AASHTO T 90. Método de prueba estándar para determinar el límite plástico y plasticidad de suelos.....	14

2.3.	AASHTO T-11. Materiales finos (tamiz No. 200 (75 $\mu$ m) en agregados minerales por lavado. AASHTO T 27. Graduación por tamices de agregado finos y gruesos .....	16
2.4.	AASHTO T-146. Método de prueba estándar para preparar muestras húmedas para ensayos .....	17
2.5.	AASHTO T-96, ASTM C-131. Método de prueba estándar para medir la resistencia a la abrasión o desgaste de agregado grueso por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles.....	18
2.6.	AASHTO T 193. Método de prueba estándar para CBR.....	19
2.7.	AASHTO T 127. Método de prueba estándar para el muestreo y cantidad de ensayo de cemento hidráulico.....	20
2.8.	ASHTO T-180. Método de prueba estándar para relaciones de humedad-densidad de suelos. ASHTO T-191. Densidad en sitio del suelo por el método del cono de arena .....	21
3.	ESCORIA DE ACERO .....	23
3.1.	Definición.....	23
3.2.	Tipos .....	23
3.3.	Usos .....	25
3.4.	Características físicas y químicas .....	26
3.5.	Disponibilidad .....	28
3.6.	Escoria de hornos de SIDEGUA .....	29
4.	DESARROLLO EXPERIMENTAL Y TRABAJO DE CAMPO .....	31
4.1.	Desarrollo experimental.....	31
4.1.1.	Evaluación de la escoria como agregado para carreteras .....	31
4.1.2.	Evaluación de la aplicación.....	33
4.2.	Trabajo de campo .....	34

4.2.1.	Visita a la planta de SIDEGUA y HARSCO.....	35
4.2.2.	Muestreo.....	36
4.3.	Trabajo de laboratorio.....	37
4.3.1.	Ensayos normalizados.....	37
4.3.2.	Preparación de materiales.....	45
4.3.2.1.	Escoria de acero .....	45
4.3.2.2.	Agregados tradicionales de basalto para uso en carreteras.....	45
4.4.	Aplicación .....	51
4.4.1.	Desempeño .....	55
4.4.2.	Costos.....	56
4.4.3.	Ventajas y desventajas .....	57
CONCLUSIONES .....		59
RECOMENDACIONES .....		61
BIBLIOGRAFÍA .....		63
ANEXOS .....		65



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Copa de Casagrande Norma ASTM D4318 .....	15
2.	Equipo ensayo compactación, método del cono de arena .....	22
3.	Planta de procesamiento de escoria de acería, HARSCO .....	33
4.	Toma de muestras escoria .....	35
5.	Área de carga y descarga de chatarra, planta SIDEGUA .....	36
6.	Trituradora de escoria de acería, HARSCO .....	37
7.	Equipo de laboratorio, ensayo de compactación .....	38
8.	Equipo ensayo de Relación Soporte California .....	39
9.	Cilindro de muestra de suelo obtenido en el ensayo de límite plástico .....	41
10.	Equipo ensayo de granulometría.....	42
11.	Uso de escorias carreteras.....	51

### TABLAS

I.	Escala de tamaños de partículas de suelos .....	2
II.	Tabla de coeficiente de permeabilidad para diferentes tipos de suelos.....	5
III.	Graduación de agregados para pavimentos de concreto asfáltico ASTM C-136, (AASHTO T-11 y T-27) .....	17
IV.	Tipos de abrasión .....	18
V.	Clasificación típica para el uso de diferentes materiales .....	19
VI.	Tipos y aplicaciones de escoria .....	24

VII.	Propiedades físicas y mecánicas, típicas de la escoria de acería .....	27
VIII.	Propiedades químicas de diferentes escorias de acería .....	28
IX.	Características escoria de SIDEGUA .....	30
X.	Gravedad específica de los sólidos de algunos suelos .....	44
XI.	Resultados abrasión.....	46
XII.	Resultados Límites de Atterberg .....	46
XIII.	Resultados análisis granulométrico escoria de acero.....	47
XIV.	Resultados análisis granulométrico agregado tradicional .....	49
XV.	Resultados ensayo de compactación.....	51
XVI.	Resultados ensayo Razón Soporte California (CBR).....	52



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>AE</b>	Agregado escoria
<b>AG</b>	Agregado tradicional
<b>A</b>	Área
<b>d</b>	Día
<b>h</b>	Hora
<b>IP</b>	Índice de plasticidad
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogramo por metro cúbico
<b>LL</b>	Límite líquido
<b>LP</b>	Límite plástico
<b>m</b>	Metro
<b>%</b>	Porcentaje
<b>T</b>	Tonelada



## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	Siglas en inglés de la Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carretera y Transporte (American Association of State Highways and Transit Officials).
<b>Actividad</b>	Conjunto de operaciones propias de un proyecto.
<b>Agregado</b>	Material granular relativamente inerte, como arena, grava, roca triturada utilizado en la industria de la construcción. Agregado fino es el material que pasa por el tamiz de 4,75 mm (#4). El agregado grueso queda retenido en el tamiz de 4,75 mm (#4).
<b>Agregado angular</b>	Aquel cuyas partículas tienen bordes bien definidos, formados por la intersección de caras planas o burdamente planas.
<b>Agregado reactivo</b>	Agregado que contiene material silíceo o magnesiano, usualmente en estado amorfo o criptocristalino, que puede reaccionar químicamente con los álcalis libres del cemento. La reacción puede dar lugar a la expansión del material endurecido y causar daño en las estructuras de concreto.

<b>Arcilla</b>	Suelo fino granular, o la porción fino granular de un suelo que puede presentar un comportamiento plástico dentro de un intervalo de contenido de humedad más o menos amplio, y que tiene una considerable resistencia al corte cuando se seca al aire.
<b>ASTM</b>	Siglas en inglés de la Sociedad Norteamericana de Ensayos y Materiales (American Society for Testing and Materials).
<b>Balasto</b>	Capa de grava o piedra triturada que sirve de base en las carreteras y vías férreas.
<b>Canto rodado</b>	Fragmento de roca, normalmente redondeado por abrasión o por meteorización cuyo diámetro promedio se encuentra entre 6,5 - 25 cm.
<b>Cuartear</b>	Proceso de reducción de tamaño de una muestra, en el que la muestra original se divide en cuatro porciones iguales, de las cuales se seleccionan dos al azar que se desechan, y las dos restantes se mezclan nuevamente; esta operación se repite tantas veces como sea necesario hasta obtener el tamaño apropiado de la muestra de acuerdo con el tamaño máximo de partículas que contenga.
<b>Escoria</b>	Material granular, no metálico, subproducto del

proceso siderúrgico en que el arrabio y/o la chatarra se refinan para producir acero.

**Escoria de altos hornos**

Es un agregado de origen mineral que se compone de silicatos de calcio y ferritas combinados con óxidos fundidos de hierro, aluminio y magnesio. La combinación de propiedades físicas de dureza, resistencia y textura superficial la hacen superior a la grava para ser utilizada como agregado para concreto.

**Productividad**

Relación entre la producción final y factores productivos (tierra, equipo y trabajo) utilizados en la producción de bienes y servicios.

**Rendimiento**

Proporción entre el producto o el resultado obtenido y los medios utilizados.



## **RESUMEN**

Actualmente las limitantes más importantes en el diseño y ejecución de vías se deben a aspectos económicos y ambientales; las soluciones tienden a nuevas tecnologías y métodos que sean más eficaces y menos agresivos con el medio ambiente. Los suelos inestables pueden crear problemas significativos en las estructuras y pavimentos.

En el presente trabajo se evaluó el uso de la escoria de acero generada en la empresa SIDEGUA como agregado en la construcción de carreteras, comparado con los agregados tradicionales. Para esto se evaluaron en laboratorio los dos tipos de agregados basados en Normas de la ASTM y AASHTO, comparándose los resultados obtenidos.

La escoria de horno es un subproducto derivado de la fabricación del arrabio (materia prima para la elaboración del acero), es utilizada como material en la construcción de carreteras y en otras aplicaciones como concreto hidráulico.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar las características físico - mecánicas de la escoria generada en la planta de SIDEGUA, para el uso de este como agregado en carreteras por medio de los ensayos normalizados por la AASHTO.

### **Específicos**

1. Comparar la escoria, con los materiales utilizados tradicionalmente en Guatemala como agregados en carreteras.
2. Ofrecer una solución rentable a la planta de SIDEGUA para el manejo adecuado de estos desechos.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación fue realizado con el fin de evaluar las características de la escoria de horno y uso como agregado para carreteras, de acuerdo a especificaciones aplicables.

El capítulo uno incluye conceptos sobre los suelos y pavimentos, incluyendo su definición, tipos, características y propiedades. En el capítulo dos se abordan aspectos sobre la descripción y alcance de las normas utilizadas para evaluar agregados para usar en la construcción de carreteras.

Dentro del capítulo tres se describe lo que es la escoria de acería presentando su definición, tipos, usos y características, finalmente se presenta la escoria generada en SIDEQUA. En el capítulo cuatro se incluye el desarrollo experimental del estudio, incluyendo las actividades de gabinete y campo realizadas. Al final se incluyen las conclusiones y recomendaciones, así como la bibliografía consultada en el trabajo realizado.

El trabajo de investigación debe servir como guía a los relacionados con el tema, de manera que pueda ser utilizado como referencia de consulta bibliográfica.



# **1. SUELOS Y PAVIMENTOS**

## **1.1. Suelos**

En el campo de trabajo, el ingeniero civil constantemente se enfrenta a diversos problemas surgidos por el tipo de suelo con el cual tratará; la diversidad de usos que actualmente se les da a los suelos es el resultado de mucho tiempo de investigación.

### **1.1.1. Definición**

“Conjunto de partículas minerales o de materia orgánica en forma de depósito, generalmente minerales pero a veces de origen orgánico, que pueden separarse por medio de una acción mecánica sencilla y que incluyen cantidades variables de agua y aire.”<sup>1</sup>

### **1.1.2. Tipos**

En el desempeño profesional, el ingeniero civil constantemente se enfrenta a diversos problemas surgidos por el tipo de suelo con el cual tratará, el suelo es lo que soportará el peso de una estructura, y si este no cumple con ese objetivo, la estructura sufrirá problemas de agrietamiento, hundimientos y otros; por esta razón es importante conocer los diferentes tipos de suelos.

---

<sup>1</sup>[http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Tipos%20de%20suelos%202\\_2007](http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Tipos%20de%20suelos%202_2007). Consulta: diciembre de 2013.

El tamaño de las partículas es el primer criterio de clasificación de los suelos. La denominación más extendida para las partículas es en una escala basada en los dígitos 2 y 6 (es decir, con un factor de 3 entre ellos).

Tabla I. **Escala de tamaños de partículas de suelos**

Denominación		Tamaño (mm)
		60
Grava (G)	Gruesa	
		20
	Media	
		6
	Fina	
		2
Arenas (S)	Gruesa	
		0,6
	Media	
		0,2
	Fina	
		0,06
Limos (M)	Gruesa	
		0,02
	Media	
		0,006
	Fina	
		0,002
Arcillas (C)		

Fuente: <http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/geotecnia-i/materiales-de-clasee/capitulo1>.

Consulta: diciembre de 2013.

### 1.1.3. Clasificación

El objeto de la clasificación de los suelos es aportar una base sobre la cual pueden agruparse, dependiendo de las propiedades físicas y de la apariencia, con el propósito de comparar diferentes suelos, describir las propiedades y estimar la conveniencia para la utilización en un trabajo específico de ingeniería. Existen varios métodos de clasificación de suelos, entre ellos están:

- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS): clasificación geotécnica de suelos, desarrollada inicialmente por A. Casagrande, que se basa en las características de granulometría y de plasticidad (Norma ASTM D2487). En esta clasificación todos los suelos resultan ubicados en uno de 15 grupos, cada uno de los cuales es designado por dos letras que indican las características relevantes así:
  - G: grava
  - S: arena
  - M: limos, finos no plásticos o de baja plasticidad
  - C: arcillas, finos plásticos
  - Pt: turba
  - O: orgánico
  - W: bien gradado
  - P: mal gradado
  - L: límite líquido menor que 50
  - H: límite líquido mayor que 50
  
- Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carretera y Transporte (AASHTO): es el más utilizado en la actualidad; es una clasificación geotécnica de suelos desarrollada por Terzaghi y Hogentogler, que se

basa en las características granulométricas y de plasticidad. Todos los suelos son clasificados en 8 grupos básicos designados por los símbolos A-1, A-2, A-3.....A-8.

- Los primeros tres grupos corresponden a suelos grueso-granulares.
  - Los grupos A-4 y A-5 corresponden a suelos predominantemente limosos.
  - Los grupos A-6 y A-7 corresponden a suelos arcillosos; el grupo A-8 corresponde a suelos altamente orgánicos. (Normas AASHTO M145 y ASTM D3282).
- Sistema del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).
  - Sistema de la Agencia Federal de Aviación (FFA).

#### **1.1.4. Propiedades**

En la construcción el suelo juega un papel fundamental es por eso que se han desarrollado métodos para determinar las propiedades. Se conoce la diferencia que en comportamiento tienen los materiales de los suelos (finos y gruesos).



Tabla II. **Tabla de coeficiente de permeabilidad para diferentes tipos de suelos**

Tipos de suelo	Grado relativo de permeabilidad	Coeficiente de permeabilidad K (cm/s)	Propiedades de drenajes
Grava limpia	Alto	$1 \times 10^{-1}$	Buena
Arena limpia	Medio	$1 \times 10^{-3}$	Buena
Grava arenosa	Medio	$1 \times 10^{-3}$	Buena
Arena fina	Bajo	$1 \times 10^{-3}$	Franca a pobre
Limos	Bajo	$1 \times 10^{-3}$	Franca a pobre
Arena limo arcilloso	Muy bajo	$1 \times 10^{-4}$ a $1 \times 10^{-7}$	Pobre o prácticamente imperceptible
Arcilla homogénea	Muy bajo a prácticamente impermeable	$1 \times 10^{-7}$	Prácticamente Imperceptible

Fuente: <http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/015454/015454Cap3>. Consulta: diciembre de 2013.

Para definir el comportamiento del suelo ante la obra que el incide se consideran tres grupos de parámetros, que son:

- Parámetros de identificación: la granulometría y la plasticidad.
- Parámetros de estado: humedad y densidad referida al grado de compacidad que muestren las partículas constituyentes.
- Parámetros estrictamente geomecánicos: la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o la permeabilidad.

### 1.1.5. Ensayos

Un ensayo es un conjunto definido de operaciones para la identificación medida y evaluación de una o más características de un material, producto, sistema o servicio cuyo resultado se expresa numéricamente.

- Tipos de muestras
  - Muestras inalteradas  
Identificación: humedad, densidad, granulometría, límites de Atterberg (clasificación de Casagrande)
  - Muestras alteradas  
Identificación: humedad, densidad aparente, granulometría, límites de Atterberg (clasificación de Casagrande), Proctor (normal o modificado), CBR.
  
- Ensayos químicos: buscan obtener el contenido de los compuestos químicos, y de esta forma caracterizar el terreno. Son ensayos relativamente sencillos, entre los que están:
  - Determinación del contenido de materia orgánica.
  - Determinación del contenido en sulfatos y otras sales solubles
  - Determinación del contenido en carbonatos
  
- Ensayos físico mecánicos
  - Materiales granulares (arenas/gravas)
    - Análisis granulométrico por tamizado
    - Humedad
    - Límites Atterberg
    - Proctor normal/modificado
    - Relación de soporte de California CBR (California Bearing Ratio).

- Materiales cohesivos (limos/ arcillas)
  - Análisis granulométrico por tamizado
  - Límites de Atterberg
  - Compresión simple
  - Edometría, colapso
  - Hinchamiento libre, presión máxima de hinchamiento
  - Corte directo
  - Triaxial

## **1.2. Pavimentos**

“Se llama pavimento a la capa o capas comprendidas entre subrasante y la superficie de rodamiento con un ancho, textura, alineamiento determinado, capaz de soportar las cargas que transitan y transmitir las de la manera más uniforme a la subrasante, soportando los efectos abrasivos del tránsito, aún como el intemperismo.”<sup>2</sup>

“La unión de capas puestas unas sobre otras, de manera horizontal, utilizado como superficie para que circulen los vehículos o peatones.”<sup>3</sup>

### **1.2.1. Tipos**

De acuerdo a los usos que se le necesite dar al pavimento y los elementos que se requieran para el proyecto, se pueden evaluar diversas opciones y seleccionar la alternativa más conveniente. A continuación se presentan los principales tipos de pavimentos:

---

<sup>2</sup>[http://www.slideshare.net/irving\\_319/pavimentos-2](http://www.slideshare.net/irving_319/pavimentos-2). Consulta: enero de 2014.

<sup>3</sup><http://tipos.com.mx/tipos-de-pavimentos>. Consulta: enero de 2014.

- Pavimentos hidráulicos
- Pavimentos continuos decorativos a base de concreto, cemento y resina
- Pavimentos deportivos
- Pavimentos antideslizantes
- Pavimentos de caucho
- Pavimentos conductores
- Pavimentos protectores
- Pavimentos ignífugos
- Pavimentos desmontables
- Pavimentos elevados
- Pavimentos auto portantes de diversos tipos.

### **1.2.2. Clasificación**

Igual que los suelos se pueden clasificar de diferentes maneras, de acuerdo al criterio que se aplique. Los pavimentos, por las formas en que se transmiten las cargas a la subrasante pueden ser:

- Pavimento articulado: posee una capa de concreto que se caracteriza por ser muy resistente y flexible. Puede ser utilizado durante largos períodos de tiempo, ya que resulta muy resistente ante el desgaste y el agua.
- Pavimento rígido: está sostenido sobre una capa de material, está dotado de una losa de concreto hidráulica; tienen la capacidad de soportar cargas pesadas gracias a la base de concreto. Existen diversas clases de este, algunos de ellos son reforzados, simple, preesforzado, entre otros.

- Pavimento flexible: reciben este nombre ya que pueden flexionarse o dicho de otra manera son maleables. Estos pavimentos se encuentran sostenidos sobre un par de capas flexibles y de base granular.
- Pavimento semirígido: este pavimento, también conocido como pavimento compuesto es muy similar al flexible, pero también al de tipo rígido. La parte flexible suele estar en la parte superior, mientras que la rígida en la parte inferior.

### **1.2.3. Propiedades**

Los pavimentos rígidos o de concreto hidráulico, tienen características diferentes de los pavimentos flexibles; una de las más importantes es la resistencia mayor a la flexión y compresión. Las fallas de los pavimentos pueden ser:

- Estructurales: implica una destrucción de la estructura del pavimento y en general a que el tránsito que ha soportado es mayor al que se cálculo para la vida útil.
- Funcional: es aquella que sucede cuando las deformaciones superficiales son mayores que las tolerables y provocan incomodidades al tránsito.

### **1.2.4. Materiales**

Los pavimentos son elementos estructurales formados por materiales de diferentes características, pero que en conjunto trabajan en armonía. En los diferentes tipos de vías terrestres se utilizan materiales pétreos, térreos,

asfálticos e industriales. Los materiales de esa naturaleza que se utilizan en la construcción de pavimentos, son de dos tipos claramente diferenciados:

- Materiales gruesos (arenas, gravas, fragmentos de roca)
- Materiales finos (limos y arcillas)

De acuerdo al tipo de pavimento se pueden utilizar los siguientes materiales: cementos asfálticos, material pétreo, emulsiones asfálticas, material para base, material para subbase, y otros. Cada uno de ellos debe cumplir las especificaciones que se encuentran en las normas.

### **1.2.5. Componentes de un pavimento**

De acuerdo al tipo de pavimento que se trate se consideran los siguientes componentes:

- Subbase: el uso surge motivado por el incremento del tráfico de los vehículos pesados en las carreteras, dando como resultado un apoyo adecuado. Están formadas por capas de materiales granulares y en muchas ocasiones estas son tratadas o estabilizadas con cemento.
- Base: elemento de la estructura de una vía que consiste en una capa de material seleccionado y compactado, de espesor definido de acuerdo con un diseño previo, que se construye sobre la subbase o sobre la subrasante de una vía. La base debe permitir un adecuado drenaje, transmitir y distribuir las cargas de tráfico a la subbase y a la subrasante y minimizar el efecto de las heladas donde estas se presentan.

- Subrasante: tiene como función soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad tenga esta capa, el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad.
- Carpeta de rodadura: es la parte superior del pavimento que proporciona la superficie de rodamiento.





## **2. DESCRIPCIÓN DE NORMAS Y ALCANCE DE LAS NORMAS**

Las normas son documentos que contienen definiciones, requisitos, especificaciones de calidad, terminología, métodos de ensayo o información de rotulado. La elaboración se basa en resultados de la experiencia, la ciencia y del desarrollo tecnológico, de tal manera que se puedan estandarizar procesos, servicios y productos; son de carácter totalmente voluntario.

Las normas técnicas juegan un papel fundamental en la sociedad moderna y son parte integral del sistema económico y legal; permiten generar importantes beneficios económicos y sociales; las normas establecen especificaciones y procedimientos para garantizar que los materiales, productos, métodos o servicios cumplan, en el contexto de los propósitos y funciones para los que fueron diseñados, con características de seguridad, intercambiabilidad, confiabilidad y calidad, entre otros aspectos.

Las normas técnicas son vehículos de comunicación entre empresas, autoridades, usuarios y consumidores, que proporcionan un lenguaje común para definir y establecer criterios, conceptos y objetivos. En virtud del amplio ámbito de aplicación, la normalización constituye un instrumento de gran importancia para el desarrollo nacional, al proporcionar elementos básicos para elevar los niveles de eficiencia y competitividad.

Las normas deben ser revisadas y actualizadas, pudiendo ser modificadas en etapas posteriores mediante estudios que actualicen el conocimiento o por el surgimiento de nuevas reglamentaciones en el tema.

## **2.1. AASHTO T 89. Método de prueba estándar para determinar el límite líquido de suelos**

El límite líquido está definido, como el contenido de humedad en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado plástico para pasar al estado líquido o semilíquido, en donde el suelo toma las propiedades y apariencias de una suspensión.

En general, la prueba consiste en determinar el número de golpes necesarios para cerrar la ranura hecha en una muestra de suelo, con tres o más diferentes contenidos de agua.

## **2.2. AASHTO T 90. Método de prueba estándar para determinar el límite plástico y plasticidad de suelos**

Método de prueba estándar para determinar el valor de índice plástico en suelos granulares y agregados finos: este ensayo se utiliza para determinar el contenido de agua en suelos o agregados, de acuerdo al cual el suelo o agregado pasa de un estado plástico a un estado líquido.

El límite plástico está definido como el contenido de humedad, en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado semisólido y el estado plástico; en el estado semisólido el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado y en el estado plástico el suelo se comporta plásticamente.

El Índice de Plasticidad (IP) es el parámetro más utilizado y representa, de alguna forma, la susceptibilidad de un suelo al agua y el comportamiento

plástico. Para su uso en carreteras, es permisible hasta un máximo de 4 % de límite plástico.

Figura 1. **Copa de Casagrande Norma ASTM D4318**



Fuente: HERNANDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y los métodos de medición.* p. 98.

### **2.3. AASHTO T-11. Materiales finos (tamiz No. 200 (75 $\mu\text{m}$ ) en agregados minerales por lavado. AASHTO T 27. Graduación por tamices de agregado finos y gruesos**

El ensayo de granulometría tiene como finalidad principal determinar en forma cuantitativa la distribución de las partículas de los agregados según el tamaño. Se debe diferenciar entre agregados gruesos, que son aquellas partículas que presentan un tamaño superior a 0,075 mm y la distribución de estas partículas se realiza por el tamizado, con una serie de mallas normalizadas; y agregados finos, los cuales presentan tamaños menores a 0,075 mm, la granulometría se determina mediante el tamizado por cribas.

Se realiza mediante un tamizado que permite conocer, para cada tamiz utilizado, el porcentaje en masa de partículas que pasan a través del mismo, previo a esto las muestras se secaron al horno y pasadas por la malla N° 4, descartándose lo retenido.

Todos los sistemas de clasificación utilizan el tamiz No. 200 como punto divisorio; las clasificaciones se basan generalmente, en términos de la cantidad retenida o la cantidad que pasa a través del tamiz No. 200.

Tabla III. **Graduación de agregados para pavimentos de concreto asfáltico ASTM C-136, (AASHTO T-11 y T-27)**

Tamaño del Tamiz	Porcentaje en masa que pasa el tamiz designado (AASHTO T-27 y T-11)					
	A(50.8mm)	B(38.1mm)	C(25.4mm)	D(19mm)	E(12.5mm)	F(9.5mm)
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"
63	100					
50	90-100					
38.1	-	100	100			
25	60-80	90-100	90-100	100		
19	-	-	-	90-100	100	
12.5	35-65	56-80	56-80	-	90-100	100
9.5	-	-	-	56-80	-	90-100
4.75	17-47	-	29-59	35-65	44-74	55-85
2.36	10-36	15-41	19-49	23-49	28-58	32-67
0.3	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23
0.075	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10

Fuente: Adaptado de Especificaciones Generales Para Construcción de Carreteras y Puentes, Dirección General de Caminos, Septiembre ,2001

Fuente: PEREZ SIERRA, Edgar Gustavo. *Evaluación de la escoria de horno como agregado en mezclas asfálticas.* p. 58.

#### **2.4. AASHTO T-146. Método de prueba estándar para preparar muestras húmedas para ensayos**

Son muestras que se obtienen por medio de cuarteo y manejadas de acuerdo con lo indicado en las normas; la cantidad de muestras dependerá del tamaño máximo de las partículas. Estos métodos cubren la preparación húmeda de muestras simples de suelo, como se reciben del campo (muestras inalteradas) y alteradas para análisis mecánico y la determinación de las propiedades del suelo.

**2.5. AASHTO T-96, ASTM C-131. Método de prueba estándar para medir la resistencia a la abrasión o desgaste de agregado grueso por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles**

La resistencia a la abrasión o desgaste de los agregados, no es más que la capacidad de sufrir un desgaste superficial, se determina por medio de la Máquina de Los Ángeles; esta norma cubre el procedimiento para evaluar el desgaste para agregados finos y gruesos, en la tabla IV se muestran los 4 tipos de abrasión.

**Tabla IV. Tipos de abrasión**

<b>Tipo</b>	<b>Retenido</b>	<b>Peso (gr.)</b>	<b>No. De Esferas</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Tiempo ( min.)</b>
<b>A</b>	<b>1", ¾", ½", y 3/8"</b>	<b>1250±10</b>	<b>12</b>	<b>500</b>	<b>17</b>
<b>B</b>	<b>½" y 3/8"</b>	<b>2500±10</b>	<b>11</b>	<b>500</b>	<b>17</b>
<b>C</b>	<b>¼" y No. 4</b>	<b>2500±10</b>	<b>8</b>	<b>500</b>	<b>17</b>
<b>D</b>	<b>No. 8</b>	<b>2500±10</b>	<b>6</b>	<b>500</b>	<b>17</b>

Fuente. Adaptación de Stándar Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. AASHTO 1998. Vol 2.

Fuente: PEREZ SIERRA, Edgar Gustavo. *Evaluación de la escoria de horno como agregado en mezclas asfálticas.* p 62.

El método consiste en analizar granulométricamente un agregado grueso, preparar una muestra de ensayo que se somete a abrasión en la máquina de Los Ángeles y expresar la pérdida del material o desgaste como el porcentaje de la pérdida de masa de la muestra con respecto a la masa inicial, el desgaste máximo permisible es de 35 %.

## 2.6. AASHTO T 193. Método de prueba estándar para CBR

Este ensayo permite evaluar la capacidad portante de un suelo (capacidad de soportar una carga para cada pareja de valores de densidad-humedad) y comparar los valores obtenidos con un valor de referencia patrón. Se expresa en porcentaje, usualmente, el número CBR se basa en la relación de carga para una penetración de 0,1" (2,5 mm); sin embargo, si el valor de CBR a una penetración de 0,2" (5 mm) es mayor, el ensayo debe repetirse.

Los ensayos de CBR se hacen sobre muestras compactadas con un contenido de humedad óptimo, obtenido del ensayo de compactación estándar o modificada. Antes de determinar la resistencia a la penetración, generalmente las probetas se saturan durante 96 horas, con una sobrecarga aproximadamente igual al peso del pavimento; para simular las condiciones de trabajo más desfavorables.

Tabla V. **Clasificación típica para el uso de diferentes materiales**

No. CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Pobre a Regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base, sub-base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Fuente: HERNANDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y los métodos de medición.* p. 62.

El número CBR es un índice del valor o capacidad soporte de un suelo; un CBR de 2 o 3 % indicará que el material tiene una capacidad soporte muy baja; otro CBR de 60 o 70 % mostrará un material de buena resistencia.

## **2.7. AASHTO T 127. Método de prueba estándar para el muestreo y cantidad de ensayo de cemento hidráulico**

Esta práctica cubre los procedimientos para muestrear y para la cantidad de cemento hidráulico producido y que está listo para la venta.

Este método cubre el muestreo de cemento hidráulico. No se pretende que constituyan necesariamente procedimientos de muestreo para fines de control de calidad en la fabricación. Una muestra de cemento asegurado desde un transportador, del almacenamiento a granel, o de un envío a granel en una sola operación se denomina una muestra tomada al azar.

Las unidades de medida son una tonelada, como se usa en la presente norma es de 2 000 libras, donde las cantidades y mediciones utilizados en estos métodos no son críticos, que se expresan en unidades convenientes y las equivalentes métricas a las unidades de EE.UU. por lo tanto, sólo es aproximada.

Muestras puntuales tomadas a intervalos prescritos durante un período de tiempo pueden combinarse para formar una muestra representativa compuesta del cemento producido durante ese período de tiempo.

Antes de la prueba, cada muestra debe pasar a través de un tamiz N ° 20, o cualquier otro tamiz que tenga aproximadamente 20 aberturas por pulgada, para mezclar la muestra, romper los grumos y eliminar materiales extraños.



**2.8. ASHTO T-180. Método de prueba estándar para relaciones de humedad-densidad de suelos. ASHTO T-191. Densidad en sitio del suelo por el método del cono de arena**

La densidad húmeda y la densidad seca de los suelos, son valores importantes para los ingenieros geotécnicos al momento de determinar los esfuerzos ante sobrecarga, los índices de poros, la compactación máxima y la compactación porcentual de los suelos. El valor de la densidad también puede ayudar a evaluar la resistencia y sensibilidad del suelo.

La compactación es el término que se utiliza para describir el proceso de densificación de un material mediante medios mecánicos; el incremento de densidad se obtiene al disminuir el contenido de aire en los vacíos, en tanto se mantiene el contenido de humedad aproximadamente constante. Una vez establecidos, para el suelo que se va a utilizar en un sitio determinado, los criterios de compactación, generalmente son limitaciones de humedad y densidad es necesario utilizar algún método para verificar los resultados.

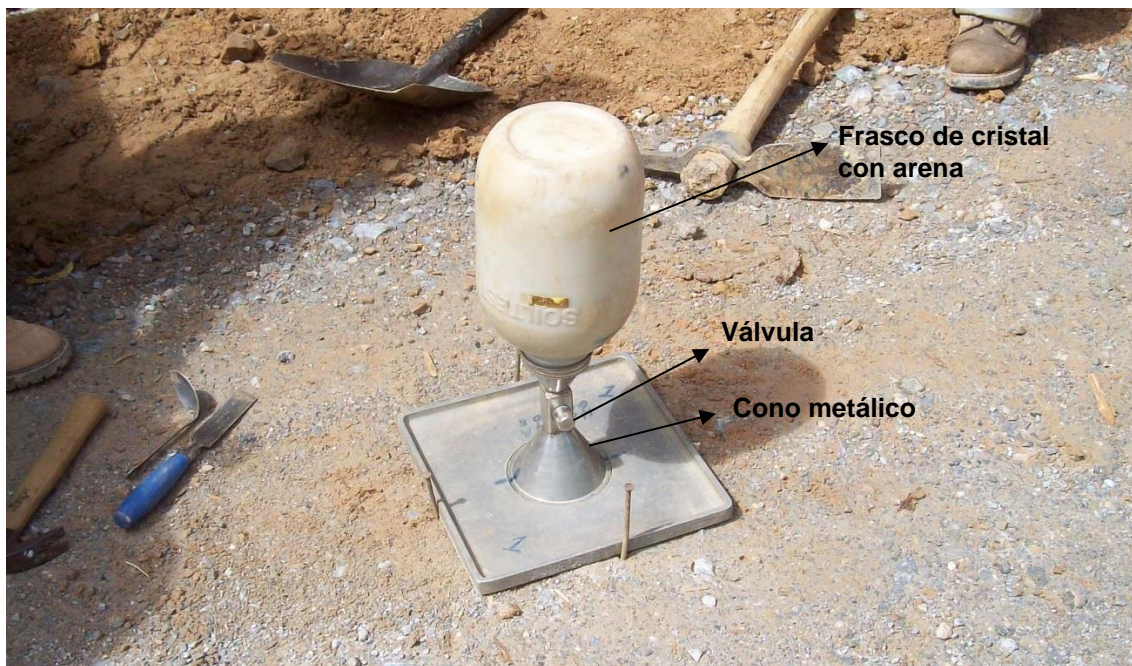
- AASHTO T-180 (Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54 kg (10 lb) Rammer and a 457 mm (18 in)): el ensayo de Próctor modificado indica el estado hídrico de un suelo, cuando se compacta un suelo con una energía de compactación dada, se comprueba que la densidad seca (D), referida al suelo en estado seco, varía en función del contenido en agua (H) hasta alcanzar un máximo de densidad correspondiente a un contenido de humedad que se denomina óptimo.

Es necesario determinar la cantidad de agua en la cual se obtenga una excelente lubricación que permita la mayor densidad posible llamada “densidad máxima o peso unitario seco máximo”; y a la cantidad de agua

necesaria para obtener dicha densidad recibe el nombre de: “humedad óptima”.

- AASHTO T-191 (densidad en sitio del suelo por el método del cono de arena): el ensayo mide la densidad del suelo *in situ*. Las normas de referencia (ASTM D1556), recomiendan la utilización de este método en suelos con partículas no mayores de 2” de diámetro. La densidad natural del terreno es de suma importancia para evaluar los resultados de capacidad soporte (CBR) sobre todo en subrasantes arcillosas o limosas.

Figura 2. **Equipo ensayo compactación, método del cono de arena**



Fuente: Proyecto de Rehabilitación El Rosario – Senahú, noviembre 2010.

### **3. ESCORIA DE ACERO**

Entre los residuos producidos en siderúrgicas de alto horno, la escoria representa el de más alto porcentaje. El gran impacto que sobre el medio ambiente ejerce este material, ha llevado a desarrollar diversas técnicas para el reaprovechamiento, previa caracterización de las propiedades físicas y químicas.

#### **3.1. Definición**

“Las escorias son un subproducto de la fundición de la mena para purificar los metales. Se pueden considerar como una mezcla de óxidos metálicos; sin embargo, pueden contener sulfuros de metal y átomos de metal en forma de elemento.”<sup>4</sup>

“Es un residuo sólido del proceso siderúrgico que, en el estado líquido, es una espuma que captura todas las impurezas presentes en el acero. De acuerdo con la etapa del proceso en la que se generen, las escorias se clasifican como negras; resultantes del proceso de fusión o blancas; generadas en el afino.”<sup>5</sup>

#### **3.2. Tipos**

Los procesos de fundición ferrosos y no ferrosos, producen distintas escorias; la escoria de las acerías, en las que se produce una fundición ferrosa,

---

<sup>4</sup>Proyecto sobre residuos: *utilización de escorias como sustitutos de áridos*. p 3.

<sup>5</sup>*Selección de tecnologías apropiadas para el aprovechamiento de la escoria en el sector siderúrgico*. p 22.

se diseña para minimizar la pérdida de hierro y por tanto contiene principalmente calcio, magnesio y aluminio.

- Escoria de altos hornos: se produce cuando se reducen los óxidos de hierro para convertirlos en arrabio líquido, esta escoria es comúnmente utilizada en la fabricación del cemento.
- Escoria de acería: es un subproducto del proceso siderúrgico en que la chatarra se refina para producir acero. Este material, cuando está en estado sólido es un excelente agregado para la construcción de carreteras y vías férreas, ya que es capaz de soportar tráficos intensos, por ser un material antideslizante, debido a que se compacta con las lluvias y se mantiene en el mismo lugar, formando una base firme y sólida.

Tabla VI. **Tipos y aplicaciones de escoria**

<b>Tipo de escoria</b>	<b>Aplicaciones</b>
Escoria granulada, de fabricación de hierro en alto horno	Cemento, vidrio, arena de restitución, agricultura, cemento de soplado abrasivo.
Escoria en roca, de fabricación de hierro en alto horno	Aditivo de concreto, relleno y agregado de carretera, material base estructural.
Escoria espumosa, de fabricación de hierro en alto horno	Agregado ligero, agregado de resistencia al deslizamiento.
Escoria peletizada, de fabricación de hierro en alto horno	Agregado liviano, cemento.
Escoria de acero de horno Básico con Oxígeno (BO)	Grava ferroviaria, asfalto superficial, pavimento, preservación de suelo
Escoria de horno de arco	Superficie de carreteras, base de pavimento, regeneración de suelo

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos91/propuesta-reutilizacion-escoria-del-horno-cubilote/propuesta-reutilizacion-escoria-del-horno-cubilote.shtml#ixzz2n71kCY7N>.

Consulta: noviembre de 2013.

### **3.3. Usos**

La escoria siderúrgica es un subproducto generado durante el proceso siderúrgico con propiedades específicas que, al ser tratada, lo convierten en un material muy valioso para otros usos, tales como la construcción de carreteras; se utilizan igualmente en la fabricación del cemento, así como otras nuevas aplicaciones emergentes, que van desde el tratamiento de aguas hasta la reconstrucción de zonas marítimas para la recuperación de la vegetación marina o los arrecifes de coral.

En general las escorias tienen tres alternativas de aprovechamiento, que han sido validadas desde el punto de vista económico, técnico y ambiental, estas se presentan a continuación:

- Introducción en la industria cementera
- Uso en capas de rodadura
- Utilización como explanada, bases y subbases de carreteras.

La escoria de acería de horno de arco eléctrico es utilizada en diversos países, fundamentalmente como agregado para concreto y morteros, y como adición al cemento. En países como Estados Unidos, Japón, Suiza, Francia, España y Chile se utiliza la escoria de acero como base o subbase para la construcción de carretera y autopistas.

En Guatemala la escoria se ha utilizado en diferentes proyectos viales, entre los que se pueden mencionar:

- Estabilización de calles de la planta de SIDEGUA, 2003.
- Estabilización de calle principal del Ingenio Pantaleón, 2003.
- Estabilización de calle en Ingenio la Unión, 2004.
- Estabilización de camino en finca Venecia, Mazatenango, 2004.
- Construcción de la base del camino de ingreso a la comunidad El Astillero, Masagua Escuintla, 2004.

### **3.4. Características físicas y químicas**

La escoria de acería tiene superficialmente una textura rugosa, forma cúbica y angular. Internamente cada partícula es de naturaleza vesicular, con muchas celdas intercomunicadas. La estructura celular se forma por los gases atrapados en la escoria caliente en el momento del enfriado y solidificación.

Esta angularidad, combinada con la textura rugosa y peso, hacen de ella un material ideal para balasto de vías férreas, bases granulares de carreteras, pavimentos asfálticos, tratamientos superficiales y sellos; ya que producen superficies de rodamiento antiderrapantes.

Tabla VII. **Propiedades físicas y mecánicas, típicas de la escoria de acería**

<b>Tipo</b>	<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Físicas	Gravedad específica	3.2 – 3.6
	Peso unitario kg/m <sup>3</sup> , (lb/ft <sup>3</sup> )	1600 - 1920 (100 - 120)
	Absorción	Arriba de 3%
Mecánicas	Abrasión Los Ángeles (ASTM C131)	% 20 – 25
	Desintegración al sulfato de sodio (ASTM C88)	% <12
	Ángulo de fricción interna	40° - 50°
	Dureza (medida en la escala de Mohs)	6 – 7
	California Bearing Ratio (CBR), % tamaño máximo 19 mm (3/4 de pulgada)	Arriba de 300

Fuente: PEREZ SIERRA, Edgar Gustavo. *Evaluación de la escoria de horno como agregado en mezclas asfálticas*. p. 30.

La composición química de las escorias usualmente se expresa en términos referentes a óxidos simples, la variación en la composición química de las escorias depende del proceso siderúrgico aplicado y del tipo de acero refundido; sin embargo, para un mismo acero, las composiciones químicas de las escorias de alto horno son bastantes similares.

Tabla VIII. **Propiedades químicas de diferentes escorias de acería**

<b>Fórmula</b>	<b>Escoria de Siderúrgica de Guatemala %</b>	<b>Escoria producida en Estados Unidos %</b>
SiO <sub>2</sub>	22,02	10-19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,16	1-3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,11	30-40
CaO	41,91	40-52
MnO	---	5-8
MgO	15,4	5-10
K <sub>2</sub> O	0,38	---
Na <sub>2</sub> O	0,01	---
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	---	0,5-1

Fuente: PEREZ SIERRA, Edgar Gustavo. *Evaluación de la escoria de horno como agregado en mezclas asfálticas.* p. 31.

Para cualquiera de los usos de la escoria mencionados es necesario realizar un análisis de la composición y, en algunos casos, garantizar un tamaño de grano uniforme mediante procesos como el cribado.

### **3.5. Disponibilidad**

Desde el surgimiento el acero, ha contribuido al desarrollo y progreso de la humanidad; la importancia de este material hace que la demanda crezca



continuamente. “En Europa se producen al año 12 millones de toneladas de escoria de acería, el 65 % de las cuales encuentra una aplicación.”<sup>6</sup>

El volumen de generación de escoria está íntimamente ligado a los niveles de producción de las siderúrgicas, el crecimiento industrial hace que la evacuación se complique y deba almacenarse y transportarse internamente, generando inconvenientes y sobrecostos en las plantas.

### **3.6. Escoria de hornos de SIDEGUA**

Siderúrgica de Guatemala, S. A. (SIDEGUA), empresa que se dedica al refinamiento de chatarra para producir acero; la planta se encuentra ubicada en el municipio de Masagua, departamento de Escuintla, en donde se producen 300 toneladas de escoria por mes. En conjunto con Harsco Metals Guatemala, S. A. empresa que procesa la misma, han impulsado su uso como agregado para proyectos de construcción.

La escoria de acería en la planta de SIDEGUA es de textura porosa, color café oscuro, con peso mayor al de los agregados tradicionales, no tiene plasticidad, y tiene forma cúbica; es necesario conocer las características y composición química con el fin de conocer qué posibles usos se pueden dar a dicho subproducto.

---

<sup>6</sup> *Reactividad y expansión de las escorias de acería de horno de arco eléctrico en relación con sus aplicaciones en la construcción.* p 9.

Tabla IX. **Características escoria de SIDEGUA**

<b>Granulometría</b>	<b>Precio por tonelada en planta (Q)</b>
0 – 1”	<b>15,00</b>
1 – 3”	
3 – 8”	

Fuente: Visita planta SIDEGUA.

## **4. DESARROLLO EXPERIMENTAL Y TRABAJO DE CAMPO**

### **4.1. Desarrollo experimental**

Las pruebas realizadas están dentro de las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes, 2001 sección división 300 subbases y bases, reguladas por la Dirección General de Caminos, están normadas por AASHTO y ASTM. De acuerdo a lo establecido se analizaron dos materiales para evaluar el uso como agregado para carreteras.

- Agregados tradicionales (tamaño máximo agregado 2”): muestra tomada de tramo; son utilizados ampliamente como materiales de base y subbase en el Proyecto rehabilitación y pavimentación, RN7E tramo I Sn. Julián-Puente Chascó, de acuerdo con Tokura Construction Co. Ltd., (ver anexo 5).
- Escoria de acería: proveniente de la planta de SIDEGUA es de textura porosa, color café oscuro, con peso mayor al de los agregados tradicionales, no tiene plasticidad, y tiene forma cúbica, (ver anexos 1 al 6).

#### **4.1.1. Evaluación de la escoria como agregado para carreteras**

Actualmente las limitantes más importantes en el diseño y ejecución de vías se deben a aspectos económicos y ambientales; las soluciones tienden a nuevas tecnologías y métodos que sean más eficaces y menos agresivos con el medio ambiente.

De acuerdo a la bibliografía consultada, uno de los principales usos de la escoria de acería es como agregado para carreteras; en Guatemala se ha aprovechado este material en diferentes proyectos. La escoria conforma un buen material (agregado) que pueda ser utilizado en la construcción de bases granulares, ya sea en mezclas 100 % escoria o en mezclas con polvillo de cantera o arena, debido a:

- Bajo costo comparado con cualquier otro material pétreo de la zona.
- Excelente valor de CBR: 150 % - 300 % en la escoria contra 85 % - 100 % en los agregados pétreos tradicionales, proporcionando mayor durabilidad ante la misma intensidad de cargas y espesor de construcción o la posibilidad de reducir el espesor de la capa de base.
- Permanencia de la estabilidad de la base granular, debido a la mayor resistencia mecánica de la escoria.
- Mejor comportamiento ante el efecto del agua, debido a la inexistencia de fracción fina plástica en las escorias.
- Reducción de los espesores de pavimentos asfálticos requeridos sobre una capa base de escoria.

Figura 3. **Planta de procesamiento de escoria de acería, HARSCO**



Fuente: archivo personal, visita Planta SIDEGUA, enero 2014.

#### 4.1.2. **Evaluación de la aplicación**

Actualmente las limitantes más importantes en el diseño y ejecución de vías se deben a aspectos económicos y ambientales; las soluciones tienden a nuevas tecnologías y métodos que sean más eficaces y menos agresivos con el medio ambiente, para esto se han evaluado diferentes materiales.

La escoria es un subproducto de la producción de metales y por lo tanto califica como un producto que no daña al medio ambiente. A continuación se presentan algunas consideraciones prácticas relacionados con el uso como agregado para carreteras:

- La escoria puede ser un 50 % más pesada que la grava en  $\pm 1,5$  toneladas por metro cúbico; dependiendo del tipo de escoria y el tamaño de la escoria.

- La escoria se transporta habitualmente en camiones pesados capaces de verter el material en el sitio.
- Quienes utilicen escoria deben asegurarse de que en el sitio donde se va a utilizar el material; se permite el acceso de camiones y tiene un espacio adecuado, que permita su descarga.
- La escoria generalmente tiene superficies planas y ángulos más agudos que la piedra triturada o grava. Debido a esto, la escoria se mantiene unida mejor que la piedra triturada.
- Por sus características físicas y mecánicas, la superficie de los caminos donde se utiliza la escoria se mantiene estable y hay menos compactación cuando el camino está expuesto a tráfico pesado.
- De acuerdo al tamaño de la escoria, esta puede ser utilizada en diferentes tipos de caminos:
  - Un tamaño de agregado más pequeño se utiliza para bicicletas o caminos de carritos de golf.
  - Un tamaño de agregado más grande se utilizan para calzadas para vehículos o estacionamientos.

#### **4.2. Trabajo de campo**

A continuación se presentan las principales actividades realizadas durante el trabajo de campo de este proyecto.

**Figura 4. Toma de muestras de escoria**



Fuente: archivo personal, visita Planta SIDEGUA, enero 2014.

#### **4.2.1. Visita a la planta de SIDEGUA y HARSCO**

Se realizó una visita a las instalaciones de SIDEGUA y HARSCO en el municipio de Masagua, departamento de Escuintla; (es importante mencionar que actualmente la empresa HARSCO es la encargada de procesar la escoria, en lugar de la empresa MULTISERV); para esto se realizaron los contactos necesarios con los responsables de estas empresas; al final se obtuvo información sobre los procesos y volumen de producción en la planta, así como datos sobre la escoria generada.

Figura 5. **Área de carga y descarga de chatarra, planta SIDEGUA**



Fuente: archivo personal, visita Planta SIDEGUA, enero 2014.

#### **4.2.2. Muestreo**

Actualmente la empresa HARSCO es la responsable del manejo y comercialización de la escoria de SIDEGUA; para esto la escoria se somete a procesos de maduración y trituración en los patios de la empresa. Durante la visita realizada se tomaron muestras representativas de la escoria ( $\pm 200,0$  kg). Al final de esta actividad se trasladó la muestra al laboratorio de Mecánica de Suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería para la evaluación.



Figura 6. Trituradora de escoria de acería, HARSCO



Fuente: archivo personal, visita Planta SIDEGUA, enero 2014.

### 4.3. Trabajo de laboratorio

A continuación se presentan las principales actividades realizadas durante el trabajo de laboratorio de este proyecto.

#### 4.3.1. Ensayos normalizados

De acuerdo a las características de este trabajo, en el laboratorio se desarrollaron los principales ensayos en la evaluación de materiales para la construcción de carreteras:

- **Compactación:** es necesario determinar la cantidad de agua en la cual se obtenga una excelente lubricación que permita la mayor densidad posible llamada. “densidad máxima o peso unitario seco máximo”; y a la cantidad de agua necesaria para obtener dicha densidad recibe el nombre de

humedad óptima. Compactando un suelo a diferentes contenidos de humedad se pueden llevar los valores obtenidos a un gráfico, la curva resultante se denomina curva de compactación.

- AASHTO T-180-01: Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54 kg (10 lb) Rammer and a 457 mm (18 in).
- ASTM D1557-07: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>)).

Figura 7. **Equipo de laboratorio, ensayo de compactación**



Fuente: HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y los métodos de medición.* p. 49.

- Relación Soporte California (CBR California Bearing Ratio): la finalidad de este ensayo es determinar la capacidad de soporte de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. El número CBR es un índice del valor o capacidad soporte de un suelo; un CBR de 2 o 3 % indicará que el material tiene una capacidad soporte muy baja; otro CBR de 60 o 70 % mostrará un material de buena resistencia, apto para capa de base de pavimentos.
  - AASHTO T-193-99: Standard Method of Test for the California Bearing Ratio.
  - ASTM D1883-07: Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils.

Figura 8. **Equipo ensayo de Relación Soporte California**



Fuente: HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y los métodos de medición.* p. 65.

- Plasticidad: los Límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Los Límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo. Los Límites de Atterberg y los índices asociados resultan muy útiles para la identificación y clasificación de suelos.

- Determinación del límite líquido (LL): el contenido de humedad en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado plástico para pasar al estado líquido o semilíquido, en donde el suelo toma las propiedades y apariencias de una suspensión.

AASHTO T089-02: Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils

ASTM D423-66 (1982): Method of Test for Liquid Limit of Soils

- Determinación del límite plástico (LP): está definido como el contenido de humedad, en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado semisólido y el estado plástico; esta prueba es muy subjetiva, depende del operador.

AASHTO T-90-00: Standard Method of Test for Determining the Plastic Limit and Plasticity index of Soils.

ASTM D424-54 (1982): Standard Method of Test for Plastic Limit.

Figura 9. **Cilindro de muestra de suelo obtenido en el ensayo de límite plástico**



Fuente: HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y los métodos de medición.* p. 110.

- Granulometría: según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis por tamices se hace con la muestra entera, o bien lavado. El proceso de tamizado no provee información sobre la forma de los granos de suelo es decir si son angulares o redondos. Solamente brinda información sobre los granos que pueden pasar, o qué orientación adecuada pasa, a través de una malla de abertura rectangular de cierto tamaño. La información del análisis granulométrico se presenta en forma

de curva; para poder comparar suelos y visualizar fácilmente la distribución de los tamaños de grano presentes.

Figura 10. **Equipo ensayo de granulometría**



Fuente: HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y los métodos de medición.* p. 123.

- Análisis granulométrico (método mecánico): según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis por tamices se hace con la muestra entera, o bien lavada.

AASHTO T087-86: Standard Method of Test for Dry Preparation of Disturbed Soil and Soil-Aggregate Samples for Test.

ASTM D421-98: Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants.

AASHTO T-88-00: Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils.

ASTM D422-02: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.

- Clasificación de los suelos: dada la gran variedad de suelos que se presentan en la naturaleza, la mecánica de suelos ha desarrollado algunos métodos de clasificación de los mismos. La clasificación por texturas permite dividir el suelo en categorías básicas, dependiendo del tamaño presente: grava, arena, limo y arcilla. Todos los sistemas de clasificación utilizan el tamiz No. 200 como punto divisorio; las clasificaciones se basan generalmente, en términos de la cantidad retenida o la cantidad que pasa a través del tamiz No. 200. En Guatemala se utilizan los siguientes métodos:
  - Sistema de clasificación de los suelos AASHTO: está destinada principalmente a clasificar los suelos de acuerdo a la adaptabilidad para ser usados en la construcción de pavimentos en carreteras y caminos. No se usa en la construcción de cimentaciones.
  - Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos SUCS o USCS también llamado sistema de clasificación ASTM: fue desarrollada por Arthur Casagrande en 1942, es en la actualidad es el más usado por los ingenieros en la clasificación de suelos. La clasificación es basada en las propiedades de plasticidad y en la distribución del tamaño de grano.

- Gravedad específica: se define como el peso unitario del material en cuestión, dividido por el peso unitario del agua destilada a cuatro grados Celsius. Este parámetro es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo, es útil para predecir el peso unitario del suelo y sirve para graficar la recta de saturación máxima en el ensayo de compactación Proctor.
  - AASHTO T100-06: Standard Method of Test for Specific Gravity of Soils.
  - ASTM D854-07: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.

Tabla X. **Gravedad específica de los sólidos de algunos suelos**

Tipo de suelo	$G_s$
Arena	2.65 – 2.67
Arena limosa	2.67 – 2.70
Arcilla inorgánica	2.70 – 2.80
Yeso	2.60 – 2.75
Loes	2.65 – 2.73
Suelos con mica o hierro	2.75 – 3.00
Suelos orgánicos	Variable, puede ser inferior a 2.00

Fuente: HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y los métodos de medición*. p. 189.

- Peso específico de los sólidos: el peso específico relativo de una masa de suelo o roca (que incluye aire, agua y sólidos) se denomina peso de la masa o peso específico aparente.



### **4.3.2. Preparación de materiales**

Para obtener una muestra representativa en el laboratorio, los materiales se manejaron de acuerdo a lo indicado en las normas aplicables; *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes Dirección General de Caminos, Guatemala*. En la división 300 subbases y bases se indican los requisitos y especificaciones que los materiales deben cumplir de acuerdo a la aplicación que se trate.

#### **4.3.2.1. Escoria de acero**

La preparación de la muestra de la escoria de acería, comprende las operaciones de secado, disgregado y cuarteo, necesarias para obtener las porciones representativas en condiciones adecuadas para efectuar los ensayos correspondientes.

#### **4.3.2.2. Agregados tradicionales de basalto para uso en carreteras**

La preparación de la muestra de agregados tradicionales, comprende las operaciones de secado, disgregado y cuarteo, necesarias para obtener las porciones representativas en condiciones adecuadas para efectuar los ensayos correspondientes.

- Abrasión. Máquina de los Ángeles: se realizó el ensayo de laboratorio tipo A, dando como resultado el 25,38 % de desgaste, estando este entre los límites máximos permisibles.

Tabla XI. **Resultados abrasión**

<b>Material</b>	<b>Desgaste (%)</b>	<b>Descripción del suelo</b>
Escoria acero	25,38	Grava arenosa color negra
Agregado tradicional	33,0	Grava limosa

Fuente: elaboración propia.

- Límites de Atterberg:

Tabla XII. **Resultados Límites de Atterberg**

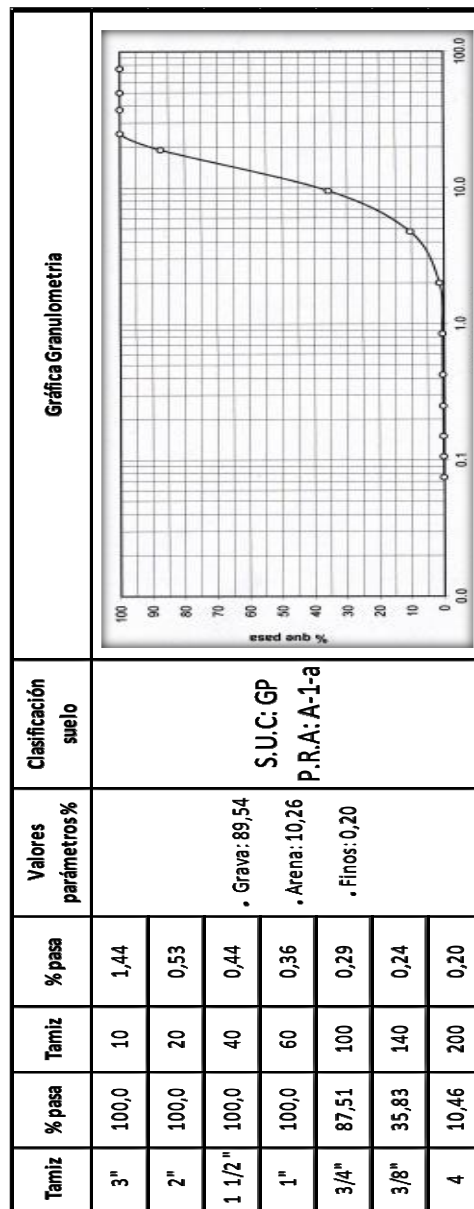
<b>Material</b>	<b>L.L. (%)</b>	<b>I.P. (%)</b>	<b>Clasificación*</b>
Escoria acero	N.P.	N.P.	ML
Agregado tradicional	0	0	

(\*) Clasificación según carta de plasticidad

Fuente: elaboración propia.

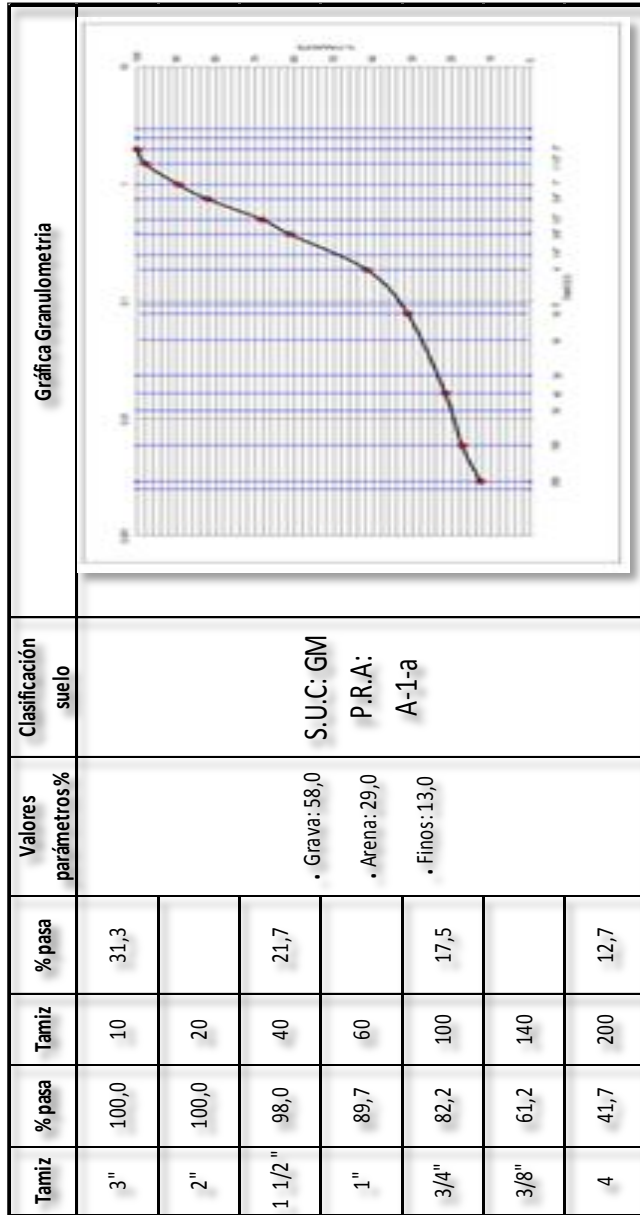
- Análisis granulométrico

Tabla XIII.            **Resultados análisis granulométrico escoria de acero**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Resultados análisis granulométrico agregado tradicional**



Fuente: elaboración propia.

- Ensayo de compactación. Proctor modificado: Norma:AASHTO T-180

Tabla XV.            **Resultados ensayo de compactación**

Material	Densidad seca máxima		Humedad óptima (%)	Gráfica densidad seca-humedad
	kg/m <sup>3</sup>	lb/pe <sup>3</sup>		
Escoria acero	2,491,91	155,55	2,3	
Agregado tradicional	2,293,00	143,1	7,1	

Fuente: elaboración propia.

- Ensayo de Razón Soporte California (C.B. R.)

Tabla XVI. **Resultados ensayo Razón Soporte California (CBR)**



Material	Probeta No.	Golpes No.	Compactación		C (%)	Expansión (%)	C.B.R. (%)	Grafica DE C.B.R.-% de compactación
			H (%)	$Y_c$ (lb/pie <sup>3</sup> )				
Escoria acero	1	10	2,3	140,8	90,5	-0,02	3,74	
	2	30	2,3	150,0	96,4	-0,09	10,08	
	3	65	2,3	155,4	99,9	-0,11	15,76	
Agregado tradicional	1	10	9,8	1949,0	90,2		81,9	
	2	30	9,8	2062,0	95,5	0,09	92,7	
	3	65	9,8	2149,0	99,5		97,1	

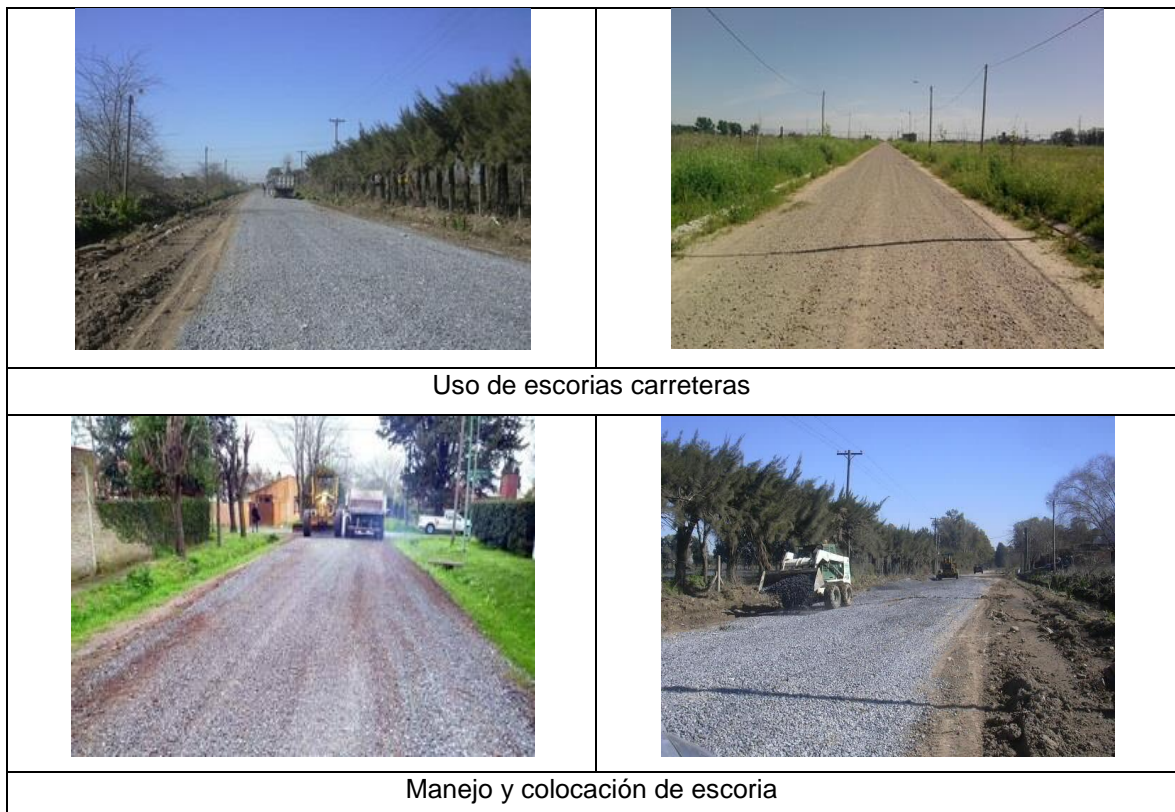
Fuente: elaboración propia.



#### 4.4. Aplicación

Como se indicó anteriormente, la escoria se puede utilizar en la construcción de rellenos y terraplenes, como agregados para bases y subbases en carreteras entre otros usos. Se propone el empleo de la escoria generada en la planta de SIDEGUA, en el mejoramiento y en la conformación de bases y subbases; en reemplazo del agregado tradicional en obras de carreteras en la zona cercana a la planta (departamento de Escuintla), con lo cual se promueve el reciclaje de un residuo que ocupa espacios importantes y se reduce la explotación de otro tipo de agregados con todo el impacto que significa al medio ambiente.

Figura 11. **Uso de escorias carreteras**



Fuente: <http://www.escorias.com/>. Consulta: 10 de enero 2014.

Este planteamiento se basa en las experiencias de otros países, al final el trabajo presenta la factibilidad del uso de la escoria de acerías de horno en las siguientes aplicaciones en sustitución del material granular tradicional.

En todos los casos: el material de subbase debe estar exento de materias vegetales, basura, terrones de arcilla, o sustancias que incorporadas dentro de la capa de subbase puedan causar fallas en el pavimento. A continuación se presentan los requisitos que piden las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes, Dirección General de Caminos, septiembre de 2001.

- Sección 301 Reacondicionamiento de subrasante existente
  - Materiales adecuados para subrasante. Son suelos de preferencia granulares con menos de 3 por ciento de hinchamiento, de acuerdo con el ensayo AASHTO T 193, que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentren en el tramo o sección que se esté reacondicionando y que además, no sean inadecuados para subrasante de acuerdo a lo indicado en esta sección.
  
- Sección 303 capa de subbase común. Requisitos para los materiales.
  - Valor soporte. El material debe tener un CBR, AASHTO T 193, mínimo de 30, efectuado sobre muestra saturada a 95 % de compactación, AASHTO T 180.
  - Piedras grandes y exceso de finos. El tamaño máximo de las piedras que contenga el material de subbase, no debe exceder de 70 milímetros ni exceder de ½ espesor de la capa. El material de

subbase no debe tener más del 50 % en peso, de partículas que pasen el tamiz 0,425 mm, ni más del 25 % en peso, de partículas que pasen el tamiz 0,075 mm.

- Plasticidad. La porción que pasa el tamiz 0,425 mm, no debe tener un índice de plasticidad AASHTO T 90, mayor de 6 ni un límite líquido, AASHTO T 89, mayor de 35, determinados ambos, sobre muestra preparada en húmedo, AASHTO T 146. Cuando las disposiciones especiales lo indiquen expresamente, el índice de plasticidad puede ser más alto, pero en ningún caso mayor de 8.
- Sección 304 capa de subbase y base granular. Requisitos para los materiales.
  - El material de subbase o base granular debe consistir de preferencia en piedra o grava clasificadas sin triturar, o solamente con trituración parcial cuando sea necesario para cumplir con los requisitos de graduación establecidos en esta sección, combinadas con arena y material de relleno para formar un material de subbase o base granular que llene los requisitos siguientes:
  - Valor soporte. Debe tener un CBR determinado por el método AASHTO T 193, mínimo de 40 para la subbase y de 70 para la base, efectuado sobre muestra saturada, a 95 % de compactación determinada por el método AASHTO T 180 y un hinchamiento máximo de 0,5 % en el ensayo efectuado según AASHTO T 193.
  - Partículas planas o alargadas. No más del 25 % en peso del material retenido en el tamiz 4,75 mm (N° 4), pueden ser partículas

planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

- Graduación. El material para capa de subbase o base granular debe llenar los requisitos de graduación, determinada por los métodos AASHTO T 27 y AASHTO T 11, para el tipo que se indique en las disposiciones especiales, de los que se estipulan en la tabla 304-1.
- Plasticidad y cohesión: el material de la capa de subbase o base granular, en el momento de ser colocado en la carretera, no debe tener en la fracción que pasa el tamiz 0,425 mm (N° 40), incluyendo el material de relleno, un índice de plasticidad mayor de 6 para la subbase y la base, determinado por el método AASHTO T 90, ni un límite líquido mayor de 35 para la subbase y de 30 para la base, según AASHTO T 89, determinados ambos sobre muestra preparada en húmedo de conformidad con AASHTO T 146.
- Sección 305 capa de subbase y base de grava o piedra trituradas. Requisitos para los materiales.
  - El material de subbase o base trituradas debe consistir en piedra o grava trituradas y mezcladas con material de relleno, de manera que el producto obtenido, corresponda a uno de los tipos de graduación aquí estipulados y además llene los requisitos siguientes.
  - Valor soporte. Debe tener un CBR determinado por el método AASHTO T 193, mínimo de 50 para la subbase y de 90 para la

base, efectuado sobre muestra saturada, a 95 % de compactación determinada por el método AASHTO T 180 y un hinchamiento máximo de 0,5 % en el ensayo efectuado según AASHTO T 193.

- Caras fracturadas. No menos del 50 % en peso de las partículas retenidas en el tamiz 4,75 mm (N° 4) deben de tener por lo menos una cara fracturada.
- Partículas planas o alargadas. No más del 20 % en peso del material retenido en el tamiz 4,75 mm (N° 4), pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.
- Graduación. El material para capa de subbase o base trituradas debe llenar los requisitos de graduación, determinada por los métodos AASHTO T 27 y AASHTO T 11, para el tipo que se indique en las disposiciones especiales, de los que se estipulan en la tabla 305-1.
- Plasticidad y cohesión. El material de subbase o base trituradas, en el momento de ser colocado en la carretera, no debe tener en la fracción que pasa el tamiz 0,425 mm (N° 40), incluyendo el material de relleno, un índice de plasticidad, AASHTO T 90, mayor de 6 para la subbase ni mayor de 3 para la base, ni un límite líquido, AASHTO T 89, mayor de 35 para la subbase ni mayor de 30 para la base, determinados ambos sobre muestra preparada en húmedo, AASHTO T 146. Cuando las disposiciones especiales lo indiquen expresamente, el índice de plasticidad para la base puede ser más alto, pero en ningún caso mayor de 6.

#### **4.4.1. Desempeño**

La escoria posee componentes cálcicos y cementicios, lo que hace que se vaya endureciendo con las lluvias sin hundirse ni desplazarse y que se vaya compactando cuando se transita sin levantar polvillo (a diferencia de los agregados tradicionales). En la práctica se ha observado que la oxidación y lixiviación de las escorias mediante su exposición al intemperismo, minimiza el efecto indeseable de la hidratación en obra, condición que se da durante el manejo y almacenamiento de la escoria en HARSCO (patios al aire libre).

Al usar la escoria el mantenimiento de los caminos no se hace tan frecuente (no hay que estar agregando o emparejando todo el tiempo porque el material queda fijo en el mismo lugar). Aún estando sin mantenimiento un camino pero con escoria ya distribuida, el tránsito es seguro, ya que se ha formado una base cementicia compactada y firme, lo que impedirá el hundimiento de vehículos pesados con carga.

La escoria soporta tráficos muy intensos aún estando el suelo inundado y, lo que es más importante, no deja que el vehículo se resbale hacia las zanjas (la escoria es antideslizante).

#### **4.4.2. Costos**

Dentro del análisis general de un presupuesto de obra, uno de los principales factores es la obtención del costo de los materiales puestos en la obra. El precio final a considerar en un presupuesto de obra, debe incluir la suma de principalmente los siguientes puntos:

- Precio del material
- Precio o coste del transporte del material hasta la obra (Tn/Km)



- Valor mano de obra descarga y maquinaria utilizada
- Coste de las pérdidas

Con respecto al costo de la escoria por tonelada, en las distintas granulometrías, cuando se compara con el precio por tonelada de la piedra picada proveniente de canteras, encontrarán sorpresas porque las diferencias son marcadas.

El rendimiento de la escoria, a nivel resultados y costos es muy superior comparado con otros materiales que se usan en carreteras. El mantenimiento de los caminos no se hace tan frecuente (no hay que estar agregando o emparejando todo el tiempo porque el material queda fijo en el mismo lugar)

#### **4.4.3. Ventajas y desventajas**

- Ventajas
  - De acuerdo al catálogo europeo de residuos, las escorias de acería de horno de arco eléctrico se clasifican, como residuo no tóxico ni peligroso.
  - Con el uso de la escoria se garantizan con poca inversión, óptimos y permanentes resultados para el tránsito.
  - La escoria es capaz de soportar tráficos intensos estando el camino húmedo y, aún mejor, siendo antideslizante, impide que los vehículos se resbalen.

- La escoria no se desperdicia, pues se compacta con las lluvias y se mantiene en el mismo lugar, formando una base firme y sólida que resiste el tránsito pesado sin riesgos.
- Su uso requiere las mismas normas y estándares de agregados tradicionales, con menos impactos ambientales.
- Reducción de canteras y alargamiento de vida.
- Incremento de la vida de los vertederos = 1 Hm<sup>3</sup>al año.
- Mejora de la imagen para usuarios y obras. Sostenibilidad.
- Desventajas
  - Desconocimiento del material y las características, lo que provoca desconfianza al usarlo.
  - El uso de la escoria está condicionado a la facilidad de transportar el material al sitio del proyecto.
  - Los lixiviados de las escorias pueden tener un pH mayor de 11, resultando corrosivos para algunos materiales.
  - Algunas veces las escorias tienen cal libre, la que puede reaccionar con el agua y formar hidróxidos.

## CONCLUSIONES

1. El material de escoria de acero de la planta SIDEGUA no cumple con los requisitos necesarios para capa de base triturada según la sección 305 de las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes, por motivo de la falta de finos que se necesitan para darle una mejor trabajabilidad y cohesión, así lograr un mayor soporte en la capa de base a trabajar.
2. De acuerdo a los resultados de plasticidad la escoria de acero no presenta valores de índice líquido e índice plástico, este resultado influye sobre el comportamiento plástico.
3. En zonas cercanas (10 o 15 kms) a la Planta de SIDEGUA es beneficioso la utilización de la escoria por el costo del flete.
4. Al tener una forma cristalina y triangular permite que al compactarse con agregados finos tenga mejor comportamiento que el agregado tradicional, que es de forma circular.



## RECOMENDACIONES

1. Integrar a la escoria del acero un limo arcilloso para lograr la trabajabilidad del material y cohesión.
2. Para lograr colocar en curva el material, a la escoria del acero es necesario hacer una integración de un limo arcilloso y lograr un mejor amarre y consolidación de los agregados.
3. Para que la escoria sea competitiva en los costos, la ubicación de los proyectos donde se pueda utilizar debe ser cercana a la ubicación de la planta de SIDEGUA.
4. Para poder ser utilizado como material de base y subbase debe mezclarse con agregados finos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing Materials. *Annual Book of ASTM standards, Section 4, construction, Volume 04.03. Road and Paving materials, vehicle – Pavements, Systems, ASTM International*. USA: ASTM, 2005. 380 p.
2. Geología y geotecnia. [en línea]. <[http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Tipos%20de%20suelos%20\\_2007.>](http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Tipos%20de%20suelos%20_2007.>)  
[Consulta: diciembre de 2013].
3. Geotecnia. [en línea]. <[http://www.academia.edu/1329261/GEOTECNIA\\_DICCIONARIO\\_BASICO](http://www.academia.edu/1329261/GEOTECNIA_DICCIONARIO_BASICO)> [Consulta: diciembre de 2013].
4. HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición*. Trabajo de graduación de Ingeniero Civil., Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2008. 510 p.
5. Introducción a la geotecnia. [en línea]. <http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/geotecnia-i/materiales-de-clase/capitulo1>> [Consulta: diciembre de 2013].
6. MÉNDEZ PIÑA, Ana. *Proyecto sobre residuos: utilización de escorias como sustitutos de áridos*. Escuela de Organización Industrial. Máster Profesional en Ingeniería y Gestión Medioambiental 2010-2011. España 2011. 82 p.

7. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: MICIVI, 2001. 690 p.
8. Pavimentos. [en línea]. [http://www.slideshare.net/irving\\_319/pavimentos-2](http://www.slideshare.net/irving_319/pavimentos-2).> [Consulta: enero de 2014].
9. PÉREZ SIERRA, Edgar Gustavo. *Evaluación de la escoria de horno como agregado en mezclas asfálticas*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2006. 106 p.
10. SERNA PÉREZ, Adriana María. *Selección de tecnologías apropiadas para el aprovechamiento de la escoria en el sector siderúrgico*. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales, Colombia. 2012. 54 p.
11. Tipo de pavimentos. [en línea]. <<http://tipos.com.mx/tipos-de-pavimentos>> [Consulta: enero de 2014].
12. VAZQUEZ RAMONICH, E., BARRA, M. *Reactividad y expansión de las escorias de acería de horno de arco eléctrico en relación con sus aplicaciones en la construcción*. Universidad Politécnica de Cataluña. España. 2001. 12 p.



## **ANEXOS**



No. 1. Informe No. 039 S.S.



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



INFORME No. 039 S.S. O.T.: 32,466

Interesado: Alvaro Alberto Ponce Lopez

Proyecto: Evaluación de la Escoria de Acero de la Planta de Siderúrgica de Guatemala (SIDEGUA) para su uso como agregados en carreteras

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Planta Siderurgica de Guatemala (SIDEGUA) Masagua, Escuintla

FECHA: miércoles, 19 de febrero de 2014

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	N.P.	N.P.	ML	Grava arenosa color negra

(\*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Atentamente,

Vo.Bo.

Inga. Teima Macdela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



No. 2. Informe No. 040 S.S.



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



---

INFORME No. 040 S.S. O.T. No. 32,466

Interesado: Alvaro Alberto Ponce Lopez  
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico con tamices y lavado previo  
 Norma: ASTM D6913-04  
 Proyecto: Evaluación de la Escoria de Acero de la Planta de Siderúrgica de Guatemala (SIDEGUA) para su uso como agregados en carreteras  
 Ubicación: Planta Siderúrgica de Guatemala (SIDEGUA) Masagua, Escuintla  
 Fecha: miércoles, 19 de febrero de 2014 Muestra: 1

Análisis con Tamices:					
Tamiz	Abertura	% que pasa	Tamiz	Abertura	% que pasa
3"	75 mm	100.00	10	2.00 mm	1.44
2"	50 mm	100.00	20	850 µm	0.53
1 1/2"	37.5 mm	100.00	40	425 µm	0.44
1"	25 mm	100.00	60	250 µm	0.36
3/4"	19.0 mm	87.51	100	150 µm	0.29
3/8"	9.5 mm	35.83	140	106 µm	0.24
4	4.75 mm	10.46	200	75 µm	0.20



Descripción del suelo: Grava arenosa color negra

Clasificación: S.C.U.: GP  
P.R.A.: A-1-a

Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado

% de Grava: 89.54  
% de Arena: 10.26  
% de finos: 0.20

D10: 4.80 mm  
D30: 8.50 mm  
D60: 14.00 mm

Vo. Bo. 

Inga. Telma Maricela Caño Morales  
DIRECTORA CII/USAC

Atentamente 

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

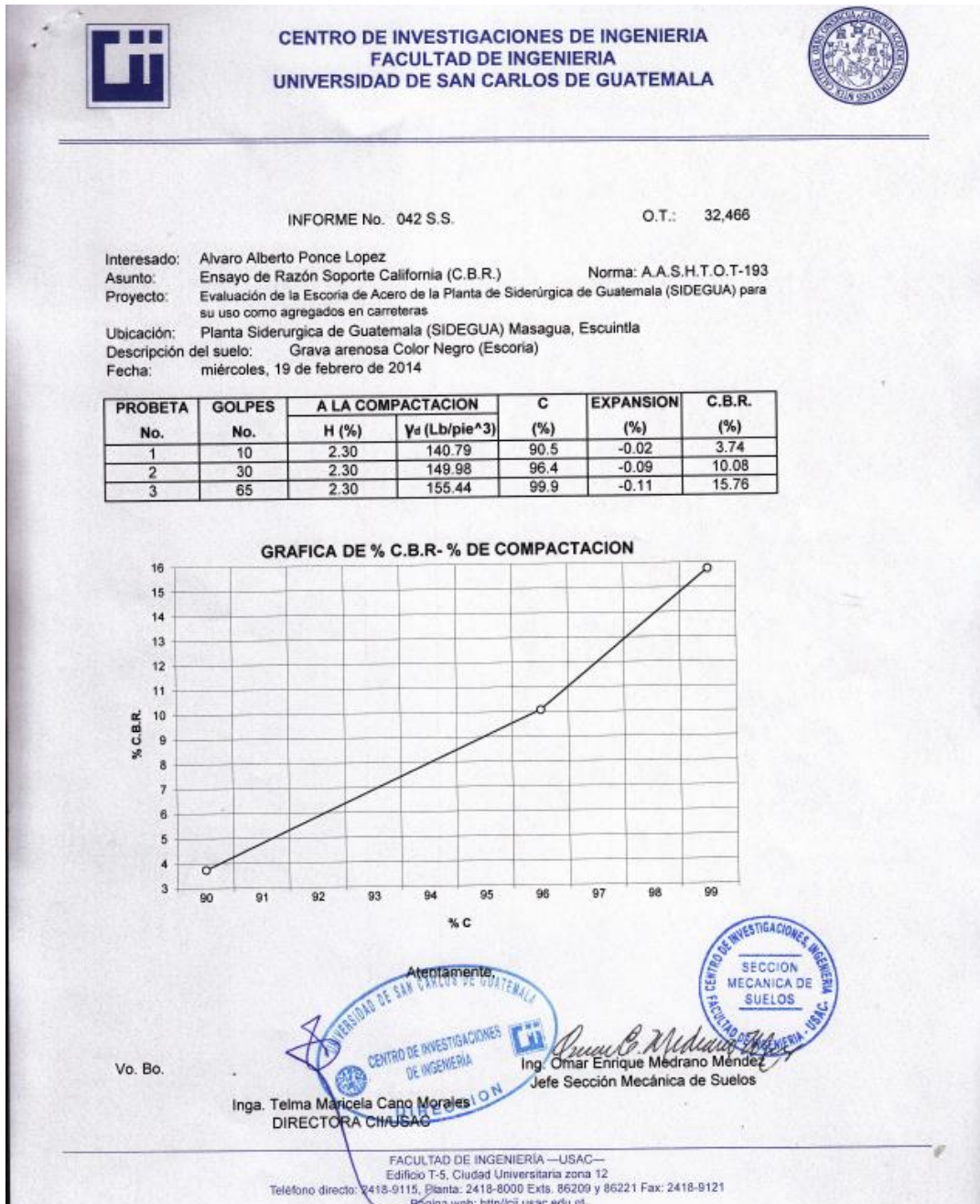
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

No. 3. Informe No. 041 S.S.



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

No. 4. Informe No. 042 S.S.



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

No. 5. Informe O.T. No. 32883.

	<b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b>									
<b>INFORME DE ENSAYO DE ABRASIÓN POR MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b>		<b>No. 0005</b>								
<b>O.T. No. 32883</b>	<b>ASTM C-131</b> S.C. - 243 HOJA 1/1									
<b>INTERESADO:</b>	Alvaro Alberto Ponce López Carné No. 1997 - 11984									
<b>PROYECTO:</b>	Tesis "Evaluación de la escoria de acero de la planta de siderurgica de Guatemala (SIDEGUA), para su uso como agregados para en carreteras"									
<b>DIRECCION:</b>	Km 60 carretera a Masagua, Escuintla.									
<b>FECHA:</b>	6 de mayo de 2014									
<table border="1"><thead><tr><th>REFERENCIAS</th><th>MUESTRA</th></tr></thead><tbody><tr><td>1. Norma de Ensayo</td><td>ASTM C-131</td></tr><tr><td>2. Graduación</td><td>"A"</td></tr><tr><td>3. % Desgaste</td><td>25.38</td></tr></tbody></table>			REFERENCIAS	MUESTRA	1. Norma de Ensayo	ASTM C-131	2. Graduación	"A"	3. % Desgaste	25.38
REFERENCIAS	MUESTRA									
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131									
2. Graduación	"A"									
3. % Desgaste	25.38									
<b>OBSERVACIONES:</b> a) Muestra proporcionada por el interesado. b) Material: escoria de acero b) Procedencia: SIDEGUA, ESCUINTLA.										
ATENTAMENTE,										
 Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros	 Vo.Bo. Inga. Telma Marcela Cano Morales Directora CII/USAC									
										
FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC— Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: <a href="http://cii.usac.edu.gt">http://cii.usac.edu.gt</a>										

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

NO. 6. Informe laboratorio, Katahira & Engineers International

<b>KATAHIRA &amp; ENGINEERS INTERNATIONAL</b>		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>																													
Título: RESUMEN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE LOS SUELOS		Emisión:																													
Revisión:																															
<b>OBRA:</b> REHABILITACIÓN Y PAVIMENTACIÓN, RNVE TRAMO I Srt. Julián- Puente Chasco PERIODO DE REPORTE: _____																															
<b>CONSTRUCTOR:</b> TOKURA CONSTRUCTION Co. Ltd. _____																															
Ubicación de la Muestra	Granulometría										Límites de Atterberg (%)	Densidad Seca Máx. kg/m3	Humedad Óptima (%)	Humedad Máx. corregida	Humedad corregida	Valor de Soporte	Equivalente de arena %	Hinchamiento %	CLASIFIC. SUCS ASTM	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Balastita Cms	% HUMEDAD NATURAL	CLASIFICACIÓN AASHTO M-145								
	No.	Fecha	km	Labo.	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"														No. 4	No. 10	No. 40	No. 100	No. 200	LL	LP	IP
1287	1-may-13	10+850	Centro	100	98	90	82	68	61	42	31	22	17	13	0	0	0	0	2293	7	2342	6	38.00	21	0.09%	(GM)	Gasa limosa		5.3	A-1-a	
<b>RESUMEN</b>																															
NOTA: _____																															
OBSERVACIONES: _____																															
ELABORÓ: ING. HUBERTO ORELLANA CORZO												ING. HUBERTO PEREA										REVISÓ Y APROBÓ SUPERVISORA ING. HUBERTO PEREA									
ENCARGADO DEL LABORATORIO																						DELEGADO RESIDENTE									

Fuente: Laboratorio control de calidad, proyecto: San Julian – Puente Chásco. Constructora Tokura Co. Ltd.



# CUADRO COMPARATIVO

## GRANULOMETRIA

TIPO "C"

TAMIZ	RESULTADO % PASA	ESPECIFICACIÓN
1"	100	100
3/4"	87.51	70-100
# 4	10.46	35-65
# 40	0.44	12-30
# 200	0.20	5-15

## LIMITES

	RESULTADO ENSAYO	ESPECIFICACIÓN
INDICE DE PLSTICIDAD	0	3 Max.
LIMITE LIQUIDO	0	25 Max.

## CBR

	RESULTADO ENSAYO	ESPECIFICACIÓN
COMPACTACIÓN	10.08	90 - 95 %
HINCHAMIENTO MAXIMO	0	0.50%

## DESGASTE

	RESULTADO ENSAYO	ESPECIFICACIÓN
DESGASTE	25.38%	50% Max.

Fuente: elaboración propia.

