



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ingeniería Vial

**APLICACIÓN DE ESCORIA SIDERÚRGICA COMO AGREGADO EN LAS
MEZCLAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTO RÍGIDO**

Ingeniero Civil Edwin Estuardo Aquino Monterroso

Asesorado por el Ing. Msc. Armando Fuentes Roca

Guatemala, noviembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APLICACIÓN DE ESCORIA SIDERÚRGICA COMO AGREGADO EN LAS
MEZCLAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTO RÍGIDO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

INGENIERO CIVIL EDWIN ESTUARDO AQUINO MONTERROSO
ASESORADO POR EL INGENIERO MSC. ARMANDO FUENTES ROCA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA VIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2012

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. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

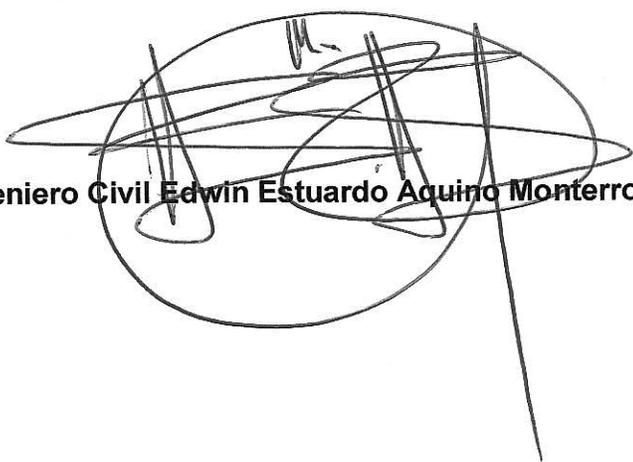
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Ing. Carlos Arnoldo Morales Rosales
EXAMINADOR	Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

APLICACIÓN DE ESCORIA SIDERÚRGICA COMO AGREGADO EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTO RÍGIDO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrados con fecha noviembre de 2011.


Ingeniero Civil Edwin Estuardo Aquino Monterroso



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
De Postgrado

Como Coordinador de la Maestría en Ingeniería Vial, y revisor del trabajo de tesis de graduación titulado **“APLIACACIÓN DE ESCORIA SEIDERÚRGICA COMO AGREGADO EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTO RÍGIDO”**, presentado por el Ingeniero Civil **Edwin Estuardo Aquino Monterroso**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Msc. Armando Fuentes Roca
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, noviembre de 2012.

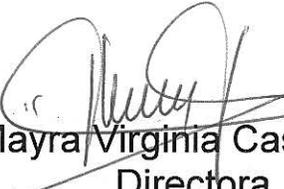
Cc: archivo
/la



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
De Postgrado

La Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de tesis de graduación titulado **“APLICACIÓN DE ESCORIA SIDERÚRGICA COMO AGREGADO EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTO RÍGIDO”** presentado por el Ingeniero Civil **Edwin Estuardo Aquino Monterroso**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, noviembre de 2012.

Cc: archivo
/la



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
De Postgrado

Como Revisor de la Maestría en Ingeniería Vial del trabajo de tesis de graduación titulado **APLICACIÓN DE ESCORIA SIDERÚRGICA AGREGADO EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTO RÍGIDO**. Presentado por el Ingeniero Civil **Edwin Estuardo Aquino Monterroso**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, noviembre de 2012.

Cc: archivo
/la



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 Postgrado, al trabajo de graduación de la Maestría en Ingeniería Vial titulado: **“APLICACIÓN DE ESCORIA SIDERÚRGICA COMO AGREGADO EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTO RÍGIDO”**, presentado por el Ingeniero Civil **Edwin Estuardo Aquino Monterroso**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, noviembre de 2012.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por sobre todas las cosas, por haberme permitido culminar mi carrera profesional a nivel de maestría.
Mis padres	Virginia Monterroso y Antonio Aquino, con mucho amor; infinitas gracias por estar a mi lado siempre.
Mis hermanos	Por su cariño y apoyo incondicional, en especial a José.
Mis sobrinos	Para que este logro sirva de motivación para ellos y continúen sus estudios a nivel universitario Bryan, Gimena, Camila, Daniela y Paula.
Mis amigos (as)	Ya que siempre me mostraron su apoyo para poder seguir y ver hacia adelante con la realización del presente trabajo de graduación.
La Facultad de Ingeniería	Por los conocimientos adquiridos.
Todas las personas	Que de alguna manera colaboraron con el desarrollo del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. AGREGADOS.....	1
1.1. Definición.....	1
1.2. Rocas utilizadas en la construcción	1
1.2.1. Roca para ornamentación	2
1.2.2. Roca miscelánea.....	3
1.2.3. Rocas fragmentadas	4
1.3. Clasificación	4
1.3.1. Según su origen	4
1.3.2. Por su tamaño.....	5
1.3.3. Por su densidad	9
1.3.4. Por su forma	13
2. AGREGADO DE ESCORIA SIDERÚRGICA.....	17
2.1. La industria siderúrgica.....	17
2.2. Definición.....	20
2.3. Tipos de escoria	22
2.3.1. Escoria de hornos eléctricos (siderúrgica).....	22
2.3.2. Escoria de altos hornos.....	25
2.4. Elaboración de la escoria siderúrgica	26

2.4.1.	Chatarra	27
2.4.2.	Acarreo y almacenamiento de la chatarra.....	29
2.4.3.	Planta trituradora de chatarra	31
2.4.4.	Horno de arco eléctrico.....	33
2.4.5.	Limpieza y enfriamiento	35
2.4.6.	Planta trituradora de escoria.....	37
2.5.	Propiedades típicas de la escoria siderúrgica	38
2.5.1.	Propiedades químicas	38
2.5.2.	Propiedades físicas	40
2.5.3.	Propiedades mecánicas	41
2.5.4.	Propiedades térmicas	42
2.6.	Utilización de escoria siderúrgica actualmente.....	42
3.	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO CON ESCORIA COMO AGREGADO GRUESO	49
3.1.	Descripción de estudios a realizar.....	49
3.2.	Desarrollo experimental	49
3.2.1.	Granulometría de agregado grueso norma C-136	49
3.2.2.	Reactividad álcali-carbonato (ensayo químico).....	52
3.2.3.	Desgaste por abrasión e impacto norma ASTM C-131 .	55
3.2.4.	Porcentaje de cara fracturada en los agregados ASTM D 5821- 95.....	56
3.2.5.	Reactividad potencial álcali sílice de los agregados	58
3.2.6.	Análisis químico mediante difracción de rayos X	61
3.2.7.	Diseño de mezcla para concreto con diferentes cementos	64
3.2.8.	Cemento UGC	65
3.2.9.	Cemento CFB.....	66
3.2.10.	Cemento estructural	67

3.2.11.	Módulo estático de elasticidad y módulo de Poisson de concreto en compresión	71
3.2.12.	Resistencia a flexión con dos puntos de carga ASTM C-78	75
3.3.	Discusión de resultados.....	77
3.3.1.	Resultados obtenidos de diseño de mezcla con agregado grueso de escoria siderúrgica y cemento UGC versus mezcla control.....	81
3.3.2.	Resultados obtenidos del diseño de mezcla con agregado grueso de escoria siderúrgica y cemento CFB versus mezcla control.....	82
3.3.3.	Resultados obtenidos diseño de mezcla con agregado grueso de escoria siderúrgica y cemento estructural versus mezcla control.....	83
4.	BENEFICIOS AMBIENTALES DEL RECICLAJE DE LA ESCORIA SIDERÚRGICA	91
4.1.	Solución ambiental del correcto uso de las escorias.....	91
4.2.	Teoría de las tres erres.....	92
4.3.	Materiales reciclables para la elaboración de la escoria siderúrgica	93
4.3.1.	Metales ferrosos.....	93
4.3.2.	Metales no ferrosos.....	94
4.4.	Beneficios del reciclaje de la escoria	95
4.4.1.	Beneficios ambientales	95
4.4.2.	Beneficios sociales.....	96
4.4.3.	Beneficios económicos.....	97
4.5.	Técnicas disponibles para las mejoras del medio ambiente	97
4.6.	Qué soluciona el correcto manejo de las escorias	99

4.7. Beneficios ambientales de la reutilización de la escoria	100
CONCLUSIONES	101
BIBLIOGRAFÍA.....	105
APÉNDICES	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Agregado grueso de canto rodado	15
2.	Agregado grueso triturado	16
3.	Agregado grueso rugoso	16
4.	Chatarra utilizada para la elaboración de escoria siderúrgica	28
5.	Acarreo de chatarra para la elaboración de escoria siderúrgica.....	30
6.	Almacenamiento de chatarra para la elaboración de escoria siderúrgica.	30
7.	Trasporte de chatarra hacia trituradora	32
8.	Planta trituradora de la chatarra.....	32
9.	Horno de arco eléctrico 1	34
10.	Horno de arco eléctrico 2	34
11.	Limpieza horno de arco eléctrico	36
12.	Enfriamiento.....	36
13.	Planta trituradora de escoria	37
14.	Almacenamiento de escoria en diferentes tamaños	38
15.	Ensayo granulometría de agregado grueso escoria	51
17.	Ensayo desgaste por abrasión de la escoria ASTM C-131	57
18.	Ensayo reactividad potencial álcali sílice a la escoria	60
20.	Ensayo de mezcla con cemento UGC 3,000 PSI	68
21.	Ensayo de mezcla con cemento CFB 4,000 PSI.....	69
22.	Ensayo de mezcla con cemento estructural 5,800 PSI	70
23.	Ensayo de elasticidad norma ASTM C-469 con cemento UGC 3,000 PSI (28 días)	72

24.	Ensayo de elasticidad norma ASTM C-469 con cemento CFB 4,000 PSI (28 días).....	73
25.	Ensayo de elasticidad norma ASTM C-469 con cemento estructural 5,000 PSI (28 días).....	74
26.	Punto de carga norma ASTM C-78.....	75
27.	Ensayo de resistencia a flexión con diferentes tipos de cemento	76
28.	Resumen de resultados escoria siderúrgica con cemento UGC	78
29.	Resumen de resultados escoria siderúrgica con cemento CFB.....	78
30.	Resumen de resultados escoria siderúrgica con cemento estructural ...	80
31.	Resumen de resultados, escoria con cemento UGC vrs mezcla control.	81
32.	Resumen de resultados, escoria con cemento CFB vrs mezcla control.	82
33.	Resumen de resultados, escoria con cemento estructural vrs mezcla control.....	83
34.	Diseño de espesor de pavimento rígido con nuestra mezcla control	89
35.	Diseño de espesor de pavimento rígido con agregado de escoria siderúrgica y cemento estructural	90

GLOSARIO

Agregado	Material granular, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado como un medio aglutinante para formar diferentes tipos de capa de rodadura.
Altos hornos	Es la instalación industrial donde se transforma o trabaja el mineral de hierro.
ASTM	Son normas sobre el control de calidad de materiales, como requisitos, componentes de los materiales, procedimiento para hacer las pruebas a los materiales en la construcción y demás, American Society for Testing and Materials.
Cemento UGC	Este es un cemento portland con adición de puzolana natural y se clasifica como cemento para uso general en la construcción. En especial en la fabricación de concreto premezclado y mezclado en obra y en la elaboración de morteros de diferentes tipos.
Cemento CFB	Es un cemento portland de alta resistencia inicial con adición de puzolana natural y es de excelente calidad para fabricantes de bloques de concreto,

tubos y otros elementos prefabricados (postes, viguetas, paneles, etc.).

Cemento estructural Es un cemento portland de alta resistencia Inicial con adición de puzolana natural. Es ideal para edificar estructuras con mayores resistencias mecánicas, como edificios altos, pavimentos y puentes, o cuando se requiere un aumento de resistencia.

Chatarra Es el conjunto de trozos de metal de desecho, principalmente hierro.

Deformación Es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo, debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo.

Difracción Es un fenómeno característico de las ondas, éste se basa en el curvado y esparcido de las ondas cuando encuentran un obstáculo o al atravesar una rendija.

Elasticidad Esta propiedad mecánica de ciertos materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original, si dichas fuerzas exteriores se eliminan.

Escoria Es un subproducto de la fundición de los metales.

Esfuerzo	Se definen como un conjunto de fuerzas y momentos estáticamente equivalentes a la distribución de tensiones internas sobre el área de esa sección.
Flexión	Tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.
Ferrosos	Material que en su estructura contiene componentes de hierro.
Granulometría	Medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis.
Misceláneas	Mezcla o unión de varias cosas en un compuesto.
Reactividad	Es la capacidad de reacción química que presenta un material ante otros reactivos.
Rugoso	Superficie de forma irregular.
Siderúrgica	Técnica del tratamiento del mineral de hierro para obtener diferentes tipos de este o de sus aleaciones.
Tamiz	Utensilio que se emplea para separar (cribar) materiales de diferente grosor.

RESUMEN

Entre los diversos problemas asociados al crecimiento de la población y a la generación de bienestar está el consumo de recursos naturales y la generación de contaminación. Una de las formas de reducir el impacto al medio ambiente es por medio de la reutilización y reciclado de desechos y subproductos industriales. En materiales de construcción, la escoria siderúrgica de horno eléctrico representa la posibilidad de producir materiales de características similares o superiores respecto de agregados para la producción de concretos hidráulicos; dicho agregado únicamente utiliza para su creación enfriamiento de sus partículas y una trituración adecuada como cualquier otro.

La utilización de la escoria siderúrgica para la construcción de carreteras permitirá ahorrar un volumen importante de áridos naturales, garantizando un desarrollo mucho más sostenible y un impacto mucho menor al medio ambiente. Por otro lado, las industrias de la fundición tienen un gran interés en mejorar la valoración de sus residuos, sacando provecho de él con vistas a la reducción de sus costes de producción.

Las empresas constructoras también obtienen un beneficio importante, ya que pueden obtener agregados a un costo más bajo que los naturales. La utilización de las escorias siderúrgicas ha sido tardía, sin llegar a tener un gran desarrollo. Hasta 1940, las escorias se desechaban en el vertedero, sin ningún tipo de aprovechamiento. Durante la Segunda Guerra Mundial se reconoció por primera vez su posible valor residual, dirigiéndose todos los esfuerzos a la recuperación del hierro remanente.

Se estima que globalmente se consumen muchas toneladas de arena, grava y roca triturada, aparte del agua requerida para elaborar pavimentos de concreto; situación que obliga a la industria de la construcción a buscar alternativas que mitiguen en parte el impacto ambiental causado por sus actividades. En Guatemala se han hecho ensayos relacionados con la escoria siderúrgica, pero en la mayoría de las investigaciones no se ha hecho un énfasis al quehacer vial; por lo tanto, en el presente informe se pretende conocer el comportamiento de la relación escoria siderúrgica como agregado a las mezclas de concreto más utilizadas para la elaboración de pavimentos.

Dentro de los principales resultados obtenidos puede mencionar que la escoria siderúrgica como agregado grueso puede ser utilizada en cualquier mezcla de concreto con diferentes tipos de cemento como: uso general en la construcción, cemento para la elaboración de elementos prefabricados, y cemento estructural, con el cual se realizan de obras de gran envergadura como los son edificios de más de 3 niveles, puentes, diques etc. esto según ensayos que se realizaron siguiendo diferentes normas como lo son ensayos a compresión, flexión, módulo de rotura etc.

Así también se practicaron diferentes ensayos a lo que es propiamente la escoria siderúrgica como un agregado grueso, dando valores muy elevados en lo que respecta al ensayo de abrasión según norma ASTM C-131, granulometría de la escoria siderúrgica norma ASTM C-136, reactividad potencial álcali sílice de los agregados entre otros.

Más concretamente, el objetivo es llegar a conocer si la escoria siderúrgica es apta o no, para ser utilizada en la elaboración de mezclas de concreto hidráulico como un agregado grueso.

OBJETIVOS

General

Analizar el uso de escoria de siderúrgica como agregado grueso en mezclas de concreto hidráulico para pavimento rígido, de acuerdo con procedimientos y especificaciones normalizadas.

Específicos

1. Documentar cuáles son las características y beneficios de la escoria siderúrgica, al ser utilizada no solo en mezclas de concreto hidráulico, sino en otros campos de la ingeniería vial.
2. Determinar el uso de la escoria siderúrgica como otra opción de agregado, para concreto hidráulico y contribuir con la disminución del impacto ambiental.
3. Verificar mediante ensayos la importancia de la escoria siderúrgica como agregado grueso en las mezclas de concreto para pavimentos rígidos.

INTRODUCCIÓN

Los costos ambientales generados a partir de la explotación y consumo de los agregados pétreos en mezclas de concreto, obligan a evaluar alternativas que ayuden a mitigar esta situación y otras. Una considerada a nivel mundial es el uso de subproductos generados durante los procesos de producción de algunas industrias en particular. La producción de acero va en aumento debido a la demanda en los diferentes sectores donde se utiliza; situación que tiene un alto impacto, por lo que la cantidad de escoria generada también crece. Por lo tanto, se busca investigar otra alternativa para la realización de mezclas de concreto, siendo esta la escoria siderúrgica como agregado en pavimentos de concreto rígido.

La escoria siderúrgica como agregado grueso en mezclas de concreto tiene su punto de origen en el material conocido comúnmente como chatarra, la cual después de procesos de trituración, temperatura y enfriamiento, da como resultado un material rugoso denominado escoria. La escoria siderúrgica de horno eléctrico pasa un proceso de trituración que da como resultado un agregado de diferentes tamaños adecuados para su uso.

La escoria tiene muchos usos comerciales y raramente se desecha. A menudo se vuelve a procesar para separar algún otro metal que contenga. Los restos de esta recuperación se pueden utilizar como balasto. El balasto se utiliza generalmente como base de pavimentaciones, tanto de pavimentos continuos como de pavimentos por piezas, y adoquinado. De manera similar, el balasto de vía cumple la función de aportar estabilidad a la vía férrea, haciendo que permanezca con la geometría dada durante su construcción.

Adicionalmente, cumple otras dos funciones importantes: distribuye las presiones que trasmite la vía al terreno, haciendo que sean admisibles para este, y permite el drenaje del agua de lluvia, evitando que se deteriore el conjunto.

Otro aspecto muy importante que debe señalarse sobre el uso de la escoria siderúrgica es que es un material con un bajo grado de abrasión o desgaste respecto de otros agregados; esto da como resultado que sea útil para soportar grandes presiones de tráfico y sea utilizado en mezclas asfálticas actualmente.

Con base en lo anterior, se utilizará la escoria siderúrgica como un agregado grueso para la utilización de mezclas de concreto rígido, realizando diferentes ensayos según normas de la ASTM, para que posteriormente este agregado se mezcle con los diferentes cementos que se están utilizando actualmente en el país y realizar una serie de ensayos como: módulo de elasticidad y módulo de Poisson de concreto en compresión, resistencia a la flexión con dos puntos de carga, entre otros.

Posteriormente se realizará un ensayo de espesor de pavimentos utilizando un programa de computadora para comprobar qué resultados se obtienen con el agregado de escoria siderúrgica versus la presente mezcla control (es la mezcla que se está utilizando actualmente en el país para la elaboración de concretos hidráulicos, dicha mezcla está elaborada con agregados triturados de canteras explotadas) dando como resultado un tipo de mezcla que da valores más pequeños respecto de espesores, según condiciones arbitrarias de tráfico, clima, espesores de base, sub base etc.

1. AGREGADOS

1.1. Definición

El American Concrete Institute (Instituto Americano del Concreto) define el agregado como: material granular, como arena, grava, piedra triturada, concreto triturado de cemento hidráulico o escoria de hierro de alto horno, usado con un medio de cemento hidráulico para producir concreto o mortero.

1.2. Rocas utilizadas en la construcción

Los agregados deben ser partículas limpias, sólidas, fuertes y durables, libres de químicos y de recubrimientos de arcilla o material fino que pueden influenciar en la vida útil de la estructura. Las rocas según el origen y naturaleza de su formación se dividen en tres grupos:

- Rocas ígneas o magmáticas: llamadas también rocas eruptivas o rocas ígneas, se forman por solidificación del magma incandescente. Esta solidificación puede tener lugar en la superficie terrestre, y entonces aparecen las rocas volcánicas o extrusivas; cuando tiene lugar bajo tierra, con una gran lentitud, se forman las rocas plutónicas o intrusivas, y si se puede en las grietas de otras rocas, surgen las rocas filonianas. Según su composición química y mineralógica, las rocas volcánicas se clasifican basaltos, traquitas, andesitas y riolitas. De estas cuatro familias, las más importantes son los basaltos y las andesitas.

- Rocas sedimentarias: se forman en la superficie de la tierra por procesos de erosión y alteración de rocas preexistentes, lo que supone su disgregación, la formación de detritus y la disolución de componentes en soluciones acuosas, el transporte de los mismos, el depósito de fragmentos de rocas, de organismos o material de precipitación química en zonas apropiadas (cauces de ríos, lagos, mares, etc.) y transformaciones originadas en el ambiente sedimentario o una vez enterradas por debajo de la superficie atmosférica o acuosa (transformaciones diagenéticas). Por esta razón, suelen presentar una disposición en capas denominada estratificación.
- Rocas metamórficas: son aquellas que se han formado a partir de otras rocas que han experimentado altas presiones y/o altas temperaturas. Este proceso se denomina metamorfismo. Las rocas metamórficas pueden originarse a partir de rocas ígneas, sedimentarias o incluso de otras metamórficas. Se clasifican en función de la presencia o ausencia de foliación y en la composición mineralógica

Las principales rocas utilizadas como materiales de construcción, se clasifican en: roca para ornamentación, miscelánea y fragmentada.

1.2.1. Roca para ornamentación

Este tipo de rocas se emplea para realzar el aspecto arquitectónico en obras civiles, y ocasionalmente bajo formas específicas y dimensiones precisas. Las propiedades físicas de las rocas ornamentales son la base de su utilización, presentan notable interés como indicadores de calidad y contribuyen fuertemente a su durabilidad.

La durabilidad se puede definir como la medida de la capacidad a resistir y mantener su tamaño original, forma, propiedades mecánicas y aspecto estético a lo largo del tiempo.

Las propiedades físicas más importantes que van a definir su utilización como roca ornamental son el sistema poroso, el comportamiento hídrico y las propiedades mecánicas. Sin duda alguna, el componente de la roca más influyente en sus propiedades físicas es el espacio vacío o poroso. Por un lado, condiciona la movilidad del agua y agentes agresivos al interior de la roca y, por lo tanto, su durabilidad. Por otro lado, tiene una evidente incidencia sobre las propiedades mecánicas debido a que representa una carencia de la fase sólida de la roca y actúa como concentrador de tensiones (zonas de debilidad).

1.2.2. Roca miscelánea

Este tipo agrupa a todas las rocas utilizadas en la construcción ornamental; este grupo de rocas lo comprenden bloques rodados de forma caprichosa. Las rocas son agregados de diversos minerales, aunque, en ocasiones, pueden estar formadas por un único mineral.

Las rocas se pueden formar de muy diversas maneras y a distintas profundidades. Una vez formadas, afloran. Se les encuentra por toda la superficie terrestre. Para estudiarlas, se dividen en tres grandes grupos, según como se han formado: ígneas, formadas por la solidificación del magma; metamórficas, formadas por transformación de otros tipos y sedimentarias, cuando son originadas a partir de los materiales de la erosión acumulados en una zona concreta.

1.2.3. Rocas fragmentadas

Es el tipo de roca fragmentada o desintegrada en forma artificial. Se usan principalmente como agregado pétreo para concreto y pavimentos, bases, terraplenes, terrazas, patios, obras de protección en mares, corrector de suelo, cubiertas granulares, y como elemento termo acústico, o simplemente como material de relleno. La actuación del proceso de fragmentación o desagregación física del material original se puede poner de manifiesto directamente en el perfil del suelo, simplemente observando cómo en la base de los perfiles se presentan las rocas fragmentadas en numerosos bloques de diverso tamaño.

1.3. Clasificación

Los agregados pueden clasificarse según su origen, tamaño, densidad y forma.

1.3.1. Según su origen

De acuerdo con el origen los agregados se clasifican en naturales y artificiales.

1.3.1.1. Agregados naturales

Son los que se encuentran en la corteza terrestre, y sus partículas se forman por la acción directa de la naturaleza o el proceso de trituración. Por lo general estos agregados son de origen volcánico, y entre los más usados se tienen los siguientes: pómez, escorias, cenizas volcánicas y diatomita.

Los agregados provienen generalmente de las rocas y se obtienen por un proceso de fragmentación natural como el intemperismo y la abrasión, o mediante un proceso físico mecánico hecho por el hombre; en ambos casos se conservan sus propiedades naturales como: densidad, porosidad, textura, resistencia y composición mineralógica de la roca madre. A través de estos procesos se obtienen los agregados tradicionales como arena y grava.

1.3.1.2. Agregados artificiales

Proviene de un proceso de transformación de los agregados naturales; dichos agregados artificiales son productos secundarios. Algunos de estos constituyen la escoria siderúrgica, la arcilla horneada, el hormigón reciclado y piedra triturada. Son productos del aprovechamiento de residuos industriales, por fenómenos de licuefacción y pulverización. Las canteras son fuentes de abastecimiento de agregados por trituración, que generalmente son de buena calidad, pero que deben extraerse de yacimientos parcial o totalmente abiertos, eligiendo zonas sanas de estructura uniforme, debiendo eliminarse rocas foliadas, tales como las pizarras, los esquistos y otras, a fin de evitar que al triturarse se produzcan partículas lajeadas o alargadas.

1.3.2. Por su tamaño

En relación con su tamaño, los agregados se clasifican en finos y gruesos.

1.3.2.1. Agregados finos (arena)

El tamiz que separa un agregado grueso de uno fino es el de 4.75 mm. Es decir, todo agregado menor a 4,75 mm es un agregado fino (arena).

La arena o árido fino es el material que resulta de la desintegración natural de las rocas, o se obtiene de la trituración de las mismas; para su uso se les hace pasar por unos tamices que van reteniendo los granos más gruesos y dejando pasar los más finos.

- Arena fina: es la que sus granos pasan por un tamiz de mallas de 1 mm de diámetro y son retenidos por otro de 0.25 mm.
- Arena media: es aquella cuyos granos pasan por un tamiz de 2.5 mm de diámetro y son retenidos por otro de 1 mm.
- Arena gruesa: es la que sus granos pasan por un tamiz de 5 mm de diámetro y son retenidos por otro de 2.5 mm.

Las arenas de granos gruesos dan, por lo general, morteros más resistentes que las finas, si bien tienen el inconveniente de necesitar mucha pasta de conglomerante para rellenar sus huecos y serán adherentes. En contrapartida, el mortero plástico resulta muy poroso y poco adherente. El hormigón es un material formado por cemento, áridos de diferentes granulometrías, agua y aditivos, que mezclados en diferentes proporciones, permiten obtenerlo; siendo distribuido después en camiones hormigoneros.

Es un material vivo, no almacenable, ya que su tiempo de uso se limita a 90 minutos; a partir de los cuales, el hormigón pierde sus propiedades. Las características especiales de este material obligan a fabricar bajo pedido, adecuando la producción a la situación geográfica, el horario y ritmo de cada obra, debiendo optimizar los recursos para ofrecer no solo un producto de calidad. sino un buen servicio al cliente.

Cualquiera que sea el tipo de material utilizado, sus partículas deben ser duras y resistentes, ya que el concreto, como cualquier otro material, se romperá por su elemento más débil. Si el agregado es de mala calidad, sus partículas se romperán antes que la pasta cementicia o el mortero. Un agregado fino con partículas de forma redondeada y textura suave, ha demostrado que requiere menos agua de mezclado.

Se acepta habitualmente, que el agregado fino causa un efecto mayor en las proporciones de la mezcla que el agregado grueso. Los primeros tienen una mayor superficie específica y como la pasta tiene que recubrir todas las superficies de los agregados, su requerimiento en la mezcla se verá afectado por la proporción en que se incluyan estos. Una óptima granulometría del árido fino es determinante, más que por el acomodamiento físico. La experiencia indica que las arenas con un módulo de finura (MF) inferior a 2.5, dan hormigones con consistencia pegajosa, haciéndolo difícil de compactar. Arenas con un módulo de finura de 3.0 han dado los mejores resultados en cuanto a trabajabilidad y resistencia a la compresión.

1.3.2.2. Agregados gruesos (grava)

Numerosos estudios han demostrado que para una resistencia a la compresión alta, con un elevado contenido de cemento y baja relación agua-cemento, el tamaño máximo de agregado debe mantenerse en el mínimo posible (12.7 a 9.5). En principio el incremento en la resistencia a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado, se debe a una reducción en los esfuerzos de adherencia debido al aumento de la superficie específica de las partículas.

Se ha encontrado que la adherencia, a una partícula de 76 mm es apenas un 10% de la correspondiente a una de 12.5 mm y que, excepto para agregados extremadamente buenos o malos, la adherencia es aproximadamente entre el 50 a 60% de la resistencia de la pasta a los 7 días.

Las fuerzas de vínculo dependen de la forma y textura superficial del agregado grueso, de la reacción química entre los componentes de la pasta de cemento y los agregados. Otro aspecto que tiene que ver con el tamaño máximo del agregado es el hecho de que existe una mayor probabilidad de encontrar fisuras o fallas en una partícula de mayor tamaño, provocadas por los procesos de explotación de las canteras (dinamitado) y debido a la reducción de tamaño (trituración), lo cual lo convertirá en un material indeseable para su utilización en concreto.

También se considera que la alta resistencia producida por agregados de menor tamaño, se debe a una baja en la concentración de esfuerzos alrededor de las partículas, la cual es causada por la diferencia de los módulos elásticos de la pasta y el agregado. Se ha demostrado que la grava triturada produce resistencias mayores que la redondeada. Esto se debe a la trabazón mecánica que se desarrolla en las partículas angulosas. Sin embargo se debe evitar una angulosidad excesiva debido al aumento en el requerimiento de agua y disminución de la trabajabilidad a que esto conlleva.

El agregado ideal debe ser limpio, cúbico, anguloso, triturado 100%, con un mínimo de partículas planas y alongadas. Son aquellos con el 95% de sus partículas mayores de 4.75 mm (tamiz número 16).

1.3.3. Por su densidad

Los agregados se clasifican de acuerdo con su densidad, en ligeros, normales y pesados.

1.3.3.1. Agregados ligeros

Son aquellos cuya densidad está entre 500-1,000 kg/m³, se utilizan en concreto de relleno o en la fabricación de bloques para mampostería estructural. Estos agregados son de baja densidad y se utilizan para producir concreto ligero. Incluyen: pómez, escoria volcánica, tobas, diatomita, arcilla sintética o expandida, lutita, pizarra, lutitas diatomáceas, perlita, vermiculita y productos de combustión de carbón. Contiene agregados ligeros que son la base de su prestación específica consistente en pesar menos que el concreto convencional.

Junto al menor peso, presentan mayor capacidad de aislamiento térmico, prestación que, en ocasiones, justifica su empleo. Es el caso de paneles de fachada que aúnan la función de aislamiento térmico y la de elemento resistente de carácter estructural. Este concreto se define como aquel cuya densidad está comprendida entre 12 KN/m³ y 20 KN/m³. Se obtiene sustituyendo el agregado grueso convencional por agregado grueso ligero, usualmente arcilla expandida, de densidad comprendida entre 5 KN/m³ y 7 KN/m³.

La resistencia característica a compresión crece con la densidad del concreto y suele estar comprendida entre 25 MPa y 55 MPa. En este tipo de concreto la rotura interesa a los agregados que representan la fase más débil del mismo.

La interfaz se caracteriza por la adherencia establecida entre el agregado ligero y la pasta de cemento, lo que le confiere mayor compacidad que la del concreto convencional.

La comparación del concreto con agregado ligero y el convencional de igual resistencia a compresión se resume como sigue: menor peso (0.60 a 0.75) el peso del concreto convencional; menor conductividad térmica del orden del 0.40 de la correspondiente al concreto convencional; menor resistencia a la rotura (0.85); menor módulo de elasticidad (0.47) que disminuye al bajar la densidad del concreto con agregados ligeros; menor tensión de adherencia concreto-armadura, motivada por la menor resistencia del agregado ligero, lo que se traduce en una mayor longitud de anclaje de la armadura pasiva y una mayor longitud de transferencia de la armadura activa.

Como recubrimiento mínimo por razones mecánicas, menor acortamiento a rotura a menor densidad; menor resistencia a cortante y menor resistencia de los conectores comprimidos a menor densidad; mayor fluencia y mayor contracción a menor densidad.

1.3.3.2. Agregados normales

Son aquellos cuya densidad está entre 1,300-1,600 kg/m³; se utilizan en concretos normales. Todos los concretos normales contienen cierta cantidad de aire que, por lo general, es de 0.5 a 1.0%. Sin embargo, si así se desea, mediante la incorporación de una pequeña cantidad de un agente de retención de aire, el porcentaje de aire retenido por el concreto aumenta a un 10% o más (en volumen). Ese aire extra está presente en forma de pequeñas burbujas, lo que tiene un notable efecto sobre la trabajabilidad, durabilidad y resistencia del concreto.

En particular, la resistencia a ciclos repetitivos de congelamiento y descongelamiento es mucho mayor que la del concreto normal. Puesto que la incorporación de aire reduce la resistencia del concreto a la compresión, es necesario compensar esa pérdida reduciendo la proporción de agua-cemento, aminorando el contenido de agua por unidad o ambas cosas.

Aun con todos los ajustes de compensación de esa naturaleza, suele ser imposible mantener inalterada la resistencia nominal del concreto si hay más de un 6% como máximo.

La incorporación de aire al concreto mejora notablemente la trabajabilidad. Si se incorpora aire a un concreto normal cuyo revenimiento es de 5 cm, sin efectuar ningún ajuste de compensación, el resultado será un concreto con aire retenido cuyo revestimiento es de 15 a 20 cm. Por tanto, al eliminar parte del agua, lo que eleva la proporción de agua-cemento, el revenimiento vuelve a ser de 5 cm; pero el concreto con aire retenido es mucho más trabajable y cohesivo, y tiene menos problemas de escurrimiento y segregación que el concreto normal con ese grado de revestimiento.

Esta mejora persiste incluso si se elimina parte del área, lo que es una práctica común. Las otras propiedades del concreto con aire retenido, como la velocidad de desarrollo de su resistencia máxima y los cambios de volumen y elasticidad, parecen ser idénticos a los del concreto normal, siempre y cuando se compense de alguna manera el efecto debilitante del aire y no se olvide la trabajabilidad extra que se logra con tal incorporación.

1.3.3.3. Agregados pesados

Son aquellos cuya densidad está entre 3,000-7,000 kg/m³, que poseen en su composición química, barita, magnetita, hematita o una mezcla entre ellas; se utilizan en hormigones pesados como centrales nucleares, salas de radiología de hospitales, aceleradores de partículas, entre otros. Se define el concreto pesado o de alta densidad al concreto de densidad sustancialmente más alta que el que ha sido elaborado con agregados de peso normal; por lo común, obtenido por el uso de agregados pesados y que se usa en especial para el blindaje contra la radiación.

Aun cuando el blindaje contra la radiación es el uso principal del concreto pesado, también se emplea en la fabricación de contrapesos o sencillamente, como un medio para aumentar económicamente el peso muerto de alguna instalación, sin aumentar el volumen de la masa, como sería el caso con el concreto de peso normal.

Invariablemente, el concreto pesado es más costoso que el de peso normal, incluso si se compara por libra de masa, debido a que debe tenerse un cuidado mayor que el normal, al seleccionar un agregado de densidad adecuada y de una calidad conveniente para la finalidad para la que se va a usar, como la explotación en la mina del material, el triturado y gradación de los agregados y su mezclado para obtener la mezcla de concreto, así como en el colado y acabado de este.

El costo de transporte para el agregado pesado necesario será relativamente alto al compararlo con los agregados de peso normal, de los que normalmente se dispone cerca de los sitios de los proyectos.

La mayor parte del equipo para triturar y clasificar por tamaños se relaciona con los agregados de peso normal; como consecuencia, el desgaste y desgarré de ese equipo ocurriría con mucho mayor rapidez, y teóricamente, el volumen de los materiales manejados por ese equipo sería inversamente proporcional a las densidades de los agregados.

Aunque los agregados pesados que se usan en el concreto pesado pueden presentar dificultades en su trituración y manejo, durante su clasificación por tamaños, así también pueden conducir a problemas costosos en el mezclado, transporte, colado y acabado; su uso puede ser absolutamente necesario o, por lo menos, conveniente en el diseño de muchas estructuras o instalaciones que necesitan blindaje contra la radiación o contrapesos densos, o bien, en donde se requiere una densidad mayor y, en especial, en donde el espacio se encuentra en un mínimo.

Cuando el diseño se basa en la densidad, el espesor de un muro o de un piso se puede reducir en un 50%, sencillamente al duplicar la densidad del concreto utilizado en su fabricación. Existen muchas propiedades del concreto que aumentan de manera notable como resultado de aumentar la densidad. Una propiedad que está adquiriendo cada vez más importancia es la resistencia a la abrasión, pero manteniendo todo lo demás igual; entre mayor sea la densidad del concreto, mayor será la resistencia a la abrasión.

1.3.4. Por su forma

Los agregados se clasifican por su forma en canto rodado, triturado y rugoso.

1.3.4.1. Canto rodado

Este material es proveniente de cauces de ríos, su forma es redondeada. Un canto rodado o guijarro es un fragmento de roca suelta, susceptible de ser transportado por medios naturales, como las corrientes de agua, los corrimientos de tierra, etc. Aunque no se hace distinción de forma, en general, un canto rodado adquiere una morfología más o menos redondeada, sobrerredondeada u oblonga, sin aristas y con la superficie lisa, debido al desgaste sufrido por los procesos erosivos durante el transporte, generalmente causados por la corrosión o las corrientes de agua (erosión hídrica).

1.3.4.2. Triturado

Proviene de piedra de cantera, su forma es angular. La piedra triturada o roca angular es una forma de agregados de construcción, por lo general producida por la minería en un depósito de roca adecuada, donde se rompe con trituradoras la roca removida hasta el tamaño deseado. Es distinto de la grava que se produce por procesos naturales de meteorización y erosión y tiene una forma más redondeada.

La piedra triturada angular es el material clave para la construcción de las carreteras; su fuerza depende de la interdependencia de las caras de las piedras individuales angulares.

La piedra natural triturada también se utiliza de manera similar sin una carpeta de ripio, balasto de ferrocarril y sin piedra de filtro. También se puede utilizar con una carpeta en un material compuesto, tales como hormigón o asfalto.

1.3.4.3. Rugoso

Proveniente de canteras de plantas de elaboración de acero, su forma es cúbica rectangular. La ASTM (Sociedad Americana para prueba de Materiales) la define como un agregado, rugoso, de origen mineral que se compone de silicatos de calcio y ferritas, combinados con óxidos fundidos de hierro, aluminio, manganeso, calcio y magnesio. Su combinación de propiedades físicas de dureza y textura superficial la hacen superior a la piedra, como un agregado, o utilizada directamente.

1.3.4.4. Canto rodado y triturado (mixto)

Proveniente de trituración de canto rodado y mezclado con grava natural, su forma es redondeada con caras fracturadas.

Figura 1. **Agregado grueso de canto rodado**



Fuente: SOTO, Ricardo. Evaluación y análisis de mezcla de concreto, elaboradas con agregados de origen pétreo (canto rodado y trituración) y escoria de acería. p. 24.

Figura 2. **Agregado grueso triturado**



Fuente: SOTO, Ricardo. Evaluación y análisis de mezcla de concreto, elaboradas con agregados de origen pétreo (canto rodado y trituración) y escoria de acería. p.25.

Figura 3. **Agregado grueso rugoso**



Fuente: SOTO, Ricardo. Evaluación y análisis de mezcla de concreto, elaboradas con agregados de origen pétreo (canto rodado y trituración) y escoria de acería. p. 25.

2. AGREGADO DE ESCORIA SIDERÚRGICA

2.1. La industria siderúrgica

Esta involucra todos aquellos procesos destinados a la manufactura de elementos de acero, desde la transformación del mineral del hierro y/o chatarra hasta la comercialización de los elementos por ella producida. Entre los principales productos que produce la industria siderúrgica se pueden anotar las planchas de hierro, platinas barras de diferentes geometrías y secciones, alambrón, perfiles de acero típico, malla electro soldada, alambre trefilado, varillas de acero corrugado, columnas prefabricadas, etc.

La industria siderúrgica transforma los recursos naturales para convertirlos en acero, un material insustituible que mejora la calidad de vida de las personas desde hace muchos años. Al hacerlo, asume como una de sus mayores responsabilidades el compromiso de preservar el medio ambiente, ahora y en el futuro.

Las materias primas para una planta integral son mineral de hierro, caliza y coque. Estos materiales son cargados en capas sucesivas y continuas en un alto horno donde la combustión del carbón ayudada por soplado de aire y la presencia de caliza, funde el hierro contenido en el mineral, que se transforma en hierro líquido con un alto contenido en carbono. A intervalos, el hierro líquido acumulado en el alto horno es transformado en lingotes de arrabio o llevado líquido directamente en contenedores refractarios a las acerías.

Históricamente, el proceso desarrollado por Henry Bessemer ha sido la estrella en la producción económica de acero, pero actualmente es superado en eficacia por los procesos con soplado de oxígeno, especialmente los conocidos como acerías.

El acero fundido puede seguir dos caminos: la colada continua o la colada clásica. En la colada continua el acero fundido es colado en grandes bloques de acero conocidos como tochos. Durante el proceso de colada continua puede mejorarse la calidad del acero mediante adiciones como por ejemplo aluminio, para que las impurezas floten y salgan al final de la colada pudiéndose cortar el final del último lingote que contiene las impurezas.

La colada clásica pasa por una fase intermedia que vierte el acero líquido en lingoteras cuadradas o rectangulares (petacas), según sea el caso, si el acero se destinará a producir perfiles o chapas. Estos lingotes deben ser recalentados en hornos antes de ser laminados en trenes desbastadores para obtener bloques cuadrados (bloms) para laminar perfiles o planos rectangulares (slabs), para laminar chapas planas o en bobinas pesadas.

Debido al coste de la energía y a los esfuerzos estructurales asociados con el calentamiento global, estas instalaciones primarias deben operar en campañas de producción continua de varios años de duración. Incluso, durante periodos de caída de la demanda de acero no es posible dejar que un alto horno se enfríe, aun cuando son posibles ciertos ajustes de la producción. Las siderúrgicas integrales son rentables con una capacidad de producción superior a los 2,000,000 de toneladas anuales y sus productos finales son generalmente, grandes secciones estructurales, chapa pesada, rieles de ferrocarril y, en algunos casos, palanquillas y tubería pesada.

Un grave inconveniente ambiental asociado a las siderúrgicas integrales es la contaminación producida por sus hornos de coque, producto esencial para la reducción del mineral de hierro en el alto horno. Por otra parte, con el fin de reducir costes de producción, las plantas integrales pueden tener instalaciones complementarias características de las acerías especializadas: hornos eléctricos, coladas continuas, trenes de laminación comerciales o laminación en frío.

Estas plantas son productoras secundarias de aceros comerciales o plantas de producción de aceros especiales. Generalmente obtienen el hierro del proceso de chatarra de acero, especialmente de automóviles, y de subproductos como sinterizados o *pellets* de hierro. Estos últimos son de mayor coste y menor rentabilidad que la chatarra de acero, por lo que con su empleo se trata siempre de reducir a cuanto sea estrictamente necesario, para lograr el tipo de producto a conseguir por razones técnicas.

Una acería especializada debe tener un horno eléctrico y cucharas u hornos al vacío (convertidores) para controlar la composición química del acero. El acero líquido pasa a lingoteras ligeras o a coladas continuas para dar forma sólida al acero fundido. También son necesarios hornos para recalentar los lingotes y poder laminarlos.

Originalmente estas acerías fueron adoptadas para la producción de grandes piezas fundidas (cigüeñas, grandes ejes, cilindros de motores náuticos, etc.) que posteriormente se mecanizan, y para productos laminados estructurales ligeros, tales como hierros redondos de hormigón vigas, angulares, tubería, rieles ligeros, etc. A partir de los años de 1980, el éxito en el moldeado directo de barras en colada continua, ha hecho productiva esta modalidad.

Actualmente, estas plantas tienden a reducir su tamaño y especializarse. Con frecuencia, con el fin de tener ventajas en los menores costes laborales, se empiezan a construir acerías especializadas en áreas que no tienen otras plantas de proceso de aceros, orientándose a la fabricación de piezas para transportes, construcción, estructuras metálicas, maquinaria, etc.

Las capacidades de estas plantas pueden alcanzar alrededor del millón de toneladas anuales, siendo sus dimensiones más corrientes en aceros comerciales o de bajas aleaciones, correspondientes al rango que está entre 200,000 a 400,000 toneladas anuales. Las plantas más antiguas y las de producción de aceros con aleaciones especiales para herramientas y similares, pueden tener capacidades del orden de 500,000 toneladas anuales o menores.

Dadas sus características técnicas, los hornos eléctricos pueden arrancarse o parar con cierta facilidad, lo que les permite trabajar 24 horas al día con alta demanda o cortar la producción cuando la demanda cae.

2.2. Definición

Agregado rugoso de origen mineral que se compone de silicatos de calcio y ferritas, combinados con óxidos fundidos de hierro, aluminio, calcio y magnesio. Según ASTM, el material no metálico es material formado por la reacción química de un fundente con la ganga de un mineral, con la ceniza de un combustible, o con las impurezas oxidadas durante la refinación de un metal. La escoria de acería tiene superficialmente una textura rugosa, forma cúbica y angular. Internamente, cada partícula es de naturaleza vesicular, con muchas celdas no intercomunicadas.

La estructura celular se forma por los gases atrapados en la escoria caliente en el momento del enfriado y solidificación. Como las celdas no forman pasajes interconectados, el término vesicular o celular es más aplicable que el término poroso.

Cuando la escoria líquida es sometida al proceso de trituración por agua, se forman fragmentos cúbicos con muy pocas partículas alargadas. Esta angularidad, combinada con su 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.

Una de las observaciones frecuentes que hacen los que por primera vez conocen la escoria, es que se puede oxidar, quizá por considerar que este material proviene del proceso de producción del acero. Vale la pena destacar, que de acuerdo con la definición de este material, se trata de una mezcla de óxidos y silicatos fundidos; como la oxidación se completó totalmente, en consecuencia, no puede progresar más.

Por su textura rugosa y angular producen superficies de rodamiento antiderrapantes, que mantienen esta característica con el tiempo, por lo cual son ampliamente utilizadas en sellos y tratamientos superficiales.

Se ha observado que la escoria tiene la capacidad de retener el calor en períodos de tiempo considerablemente más largos que los agregados naturales tradicionales; esta característica resulta ventajosa en las mezclas asfálticas, conservando la temperatura por mayor tiempo.

2.3. Tipos de escoria

La escoria se clasifica según el tipo de horno en arco eléctrico y de alto horno.

2.3.1. Escoria de hornos eléctricos (siderúrgica)

Se producen en hornos de arco eléctrico; 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, e inclusive el tipo de acero producido. Es un subproducto formado en algunos procesos de purificación de metales (es el residuo que queda de la fundición de los metales). El primer horno eléctrico de arco se desarrolló por el francés Paul Héroult, con una planta comercial establecida en Estados Unidos en 1,907.

En principio, el acero obtenido por horno eléctrico era un producto especial para la fabricación de máquinas herramienta y de acero resorte. También se utilizaron para preparar carburo de calcio para las lámparas de carburo.

En el siglo XIX, el horno de arco eléctrico se empezó a emplear en la fundición de hierro. Humphry Davy llevó a cabo una demostración experimental del horno en 1810; el método de soldadura por arco eléctrico fue investigado por Pepys en 1815; Pinchon intentó crear un horno eléctrotérmico en 1853; y, en 1878 - 79, Wilhelm Siemens patentó el horno de arco eléctrico. El horno eléctrico de Stessano era un horno de arco que rotaba para mezclar la colada.

Los hornos de arco eléctrico fueron utilizados en la Segunda Guerra Mundial para la producción de aleaciones de acero, fue después cuando la fabricación de acero por este método comenzó a expandirse. El bajo coste en relación con su capacidad de producción, permitió establecerse nuevas acerías en Europa en la postguerra, y también competir en bajo coste con los grandes fabricantes de Estados Unidos, tales como Bethlehem Steel y U.S. Steel, con productos de viguería, embarrados, cables y laminados para el mercado estadounidense.

Cuando Nucor, que ahora es uno de los mayores productores de acero de los Estados Unidos, decidió entrar en el mercado de aceros alargados en 1969, comenzó con una acería pequeña, en cuyo interior se encontraba el horno de arco eléctrico, y que pronto le siguieron otros fabricantes. Mientras Nucor crecía rápidamente a lo largo de la costa este de los Estados Unidos, las empresas que le seguían con operaciones mercantiles localizadas para aceros alargados y viguería, donde el uso del horno de arco eléctrico permitía flexibilidad en las plantas de producción, se adaptaron a la demanda local. Este mismo patrón fue seguido en otros países, en donde el horno de arco eléctrico se utilizaba principalmente para producción de viguería.

En 1987, la compañía Nucor tomó la decisión de expandir su negocio en el mercado de productos laminados, utilizando para ello el horno de arco eléctrico. El hecho de que un horno de arco eléctrico use acero procedente de chatarra como materia prima, tiene un impacto en la calidad de un producto laminado, debido al control de calidad limitado sobre las impurezas que contiene un acero procedente de chatarra.

El horno está construido sobre una plataforma basculante para que el acero líquido se vierta en otro recipiente para el transporte.

La operación de inclinación del horno para verter el acero fundido se conoce como *tapping*. Originalmente, todos los hornos de producción de acero tenían un caño para verter, que estaba revestido de refractario en un recipiente metalúrgico que aliviaba cuando estaban inclinados, pero a menudo los hornos modernos tienen una desembocadura excéntrica en la parte inferior, para reducir la inclusión de nitrógeno y de escoria en el acero líquido. Estos hornos tienen una abertura que pasa verticalmente a través del hogar y el armazón, y se encuentra fuera del centro en la estrecha nariz del hogar ovalado.

Las plantas modernas pueden tener dos armazones con un solo sistema de electrodos que se pueden transferir entre las dos armazones; uno precalienta la chatarra mientras que el otro armazón se utiliza para la fusión. Otros hornos basados en corriente continua tienen una disposición similar, pero tienen electrodos para cada armazón y un solo sistema electrónico.

Existen hornos que por lo general exhiben un patrón de calor y puntos fríos alrededor del perímetro del hogar, con los puntos fríos situados entre los electrodos. Hay hornos modernos donde montan quemadores de combustible de oxígeno en la pared lateral y los utilizan para proporcionar energía en esos puntos fríos, consiguiendo un calentamiento del acero más uniforme. La energía química adicional se proporciona mediante la inyección de oxígeno y carbono en el horno; históricamente esto se hacía a través de lanzallamas en la puerta de la escoria; ahora esto se hace principalmente a través de múltiples equipamientos de inyección empotrados en la pared.

Un moderno horno de fabricación de acero de tamaño mediano tiene un transformador de 60 MVA de capacidad, con una tensión secundaria entre 400 y 900 voltios y una corriente secundaria de más de 44,000 amperios.

En un taller moderno, un horno debería producir una cantidad de 80 toneladas métricas de acero líquido, en aproximadamente 60 minutos de carga con chatarra fría para aprovechar el horno. En comparación, los hornos básicos de oxígeno pueden tener una capacidad de 150-300 toneladas por lote, y producir un lote entre 30 y 40 minutos.

Existen enormes variaciones en los detalles del diseño y el funcionamiento del horno, dependiendo del producto final y las condiciones locales. Producir una tonelada de acero en un horno de arco eléctrico requiere aproximadamente de 400 kilovatios-hora de electricidad por tonelada corta, o alrededor de 440 kWh por tonelada métrica; la cantidad mínima teórica de energía requerida para fundir una tonelada de chatarra de acero es de 300 kWh (punto de fusión 1520°C/2768°F). Por lo tanto, dicho horno de arco eléctrico de 300 toneladas y 300 MVA, requeriría aproximadamente de 132 MWh de energía para fundir el acero, y un tiempo de encendido (el tiempo que el acero se funde con un arco) de aproximadamente 37 minutos.

La fabricación de acero con arco eléctrico es sólo rentable donde hay electricidad abundante, con una red eléctrica bien desarrollada.

2.3.2. Escoria de altos hornos

El alto horno es la instalación industrial donde se transforma o trabaja el mineral de hierro. Un alto horno típico está formado por una cápsula cilíndrica de acero de unos 30 m. de alto, forrada con un material no metálico y resistente al calor, como asbesto o ladrillos refractarios. El diámetro de la cápsula disminuye hacia arriba y hacia abajo, y es máximo en un punto situado aproximadamente a una cuarta parte de su altura total.

La parte inferior del horno está dotada de varias aberturas tubulares llamadas toberas, por donde se fuerza el paso del aire que enciende el coque.

Cerca del fondo se encuentra un orificio por el que fluye el arrabio cuando se sangra (o vacía) el alto horno. Encima de ese orificio, pero debajo de las toberas, hay otro agujero para retirar la escoria. La parte superior del horno contiene respiraderos para los gases de escape, y un par de tolvas redondas, cerradas por válvulas en forma de campana, por las que se introduce el mineral de hierro, el coque y la caliza.

Una vez obtenido el arrabio líquido, se puede introducir en distintos tipos de coladura para obtener unos materiales determinados: la colada convencional, de la que se obtienen productos acabados, la colada continua, de la que se obtienen trenes de laminación y, finalmente, la colada sobre lingoteras, de la que lógicamente se obtienen lingotes.

2.4. Elaboración de la escoria siderúrgica

En una siderúrgica, la producción de una tonelada de acero genera aproximadamente media tonelada de escoria, constituida básicamente por óxidos de una elevada energía de formación, que permanecen sin alterarse en el horno eléctrico.

Durante la elaboración del acero, la escoria constituye el medio idóneo por el cual las impurezas son separadas del metal líquido, logrando la composición deseada de este.

2.4.1. Chatarra

La chatarra es el conjunto de trozos de metal de desecho, principalmente de hierro. La chatarra de hierro es utilizada en la producción de acero, cubriendo un 40% de las necesidades mundiales. La chatarra se divide en dos tipos: metales ferrosos y no ferrosos. La chatarra férrica es la de hierro y acero. Esto incluye la chatarra de los vehículos viejos, electrodomésticos, vigas de acero, vías de ferrocarril, buques, envases de alimentos y otros recipientes. Son recogidas, seleccionadas y apiladas, luego puestas en una prensa de chatarra y transportadas para la venta e fundiciones.

La chatarra de metales no ferrosos es la de metales diferentes al hierro y el acero. Por ejemplo la chatarra no ferrosa está compuesta por láminas de aluminio y latas, cobre, plomo, zinc, níquel, titanio, cobalto, cromo y otros metales preciosos. Aunque hay menos desechos no ferrosos que la chatarra férrica, normalmente este tipo de metales tiene más valor financiero.

Millones de toneladas de chatarra de metales no ferrosos son recuperados por los procesadores y recicladores de fundición secundaria, refinados, en forma de lingote para los fabricantes, las fundiciones y otras industrias.

La chatarra de metales ferrosos y no ferrosos, puede clasificarse como chatarra de origen o chatarra comprada. La chatarra de origen es generada en la fábrica, refinería, o fundición, y en general, es recuperada y utilizada de nuevo en la misma planta. La chatarra de origen nunca sale de la planta. Por ejemplo la chatarra de acero es fundamental en el proceso de fundición del nuevo acero y pueden reciclarse indefinidamente sin perder su calidad.

Debido a sus propiedades magnéticas, es fácil de recuperar, incluso en residuos sin clasificar. La chatarra comprada representa un gran porcentaje de los metales a reciclar pero debe ser recogida antes de poder entrar en el proceso de reciclaje. Los grandes electrodomésticos, como los frigoríficos por ejemplo, históricamente han sido recogidos por los comerciantes de chatarra debido al gran valor del metal recuperado.

Las nuevas legislaciones sobre el reciclaje de frigoríficos y de fin de vida útil de los vehículos están cambiando la función específica de las empresas de reciclado de metales en la recogida y el procesamiento de estos productos; pero su importancia en la recuperación de los componentes de metal no ha cambiado. Los recicladores de electrónica están jugando un papel cada vez más importante en una economía en la que los residuos electrónicos forman un porcentaje mayor, debido a legislaciones cada vez más conscientes respecto de la contaminación que producen estos aparatos electrónicos.

Figura 4. **Chatarra utilizada para la elaboración de escoria siderúrgica**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en el kilómetros 65.5 en Masagua Escuintla, Guatemala, parque siderúrgico de Sidegua.

2.4.2. Acarreo y almacenamiento de la chatarra

La chatarra se acarrea en camiones de diferentes tipos y se almacena en patios de gran magnitud, en los cuales soldadores especializados cortan las piezas de gran tamaño para poder ser llevadas a la trituradora. Las etapas y/o pasos de disposición pueden abarcan tanto residuos sólidos domésticos como industriales. No es absolutamente necesario ni recomendable en todos los casos cumplir rigurosamente con todas estas etapas, ni en este orden. Muchas veces una combinación adecuada de algunas de ellas puede resultar más apropiada desde el punto de vista técnico.

El transporte de los residuos sólidos en vehículos de recolección comprende generalmente además de los procesos de transporte en vacío, intermedio y lleno, los procesos para su descarga en estaciones de transbordo y plantas de tratamiento, y en vertederos. El transporte de residuos sólidos en vehículos especiales tiene por objeto su traslado desde las estaciones de transbordo a las instalaciones respectivas.

En todos los casos, se tendrá debidamente en cuenta que la distancia entre la zona de recolección y las instalaciones de disposición no sea excesiva desde el punto de vista de la rentabilidad, exigiendo donde resulte conveniente la disponibilidad de estaciones de transbordo. En el marco de este capítulo se considera el transbordo de residuos sólidos.

La zona de recepción, descarga y clasificación debe estar dotada de pavimento impermeable (hormigón) con sistemas de recogida de derrames, conectados con arqueta separadora de grasas, con el objeto de evitar una posible contaminación del suelo por derrames accidentales de residuos peligrosos que puedan encontrarse mezclados con la chatarra.

Figura 5. **Acarreo de chatarra para la elaboración de escoria siderúrgica**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en el kilómetros 65.5 en Masagua Escuintla, Guatemala, parque siderúrgico de Sidegua.

Figura 6. **Almacenamiento de chatarra para la elaboración de escoria siderúrgica**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en el kilómetros 65.5 en Masagua Escuintla, Guatemala, parque siderúrgico de Sidegua.

2.4.3. Planta trituradora de chatarra

El reciclado eficiente de los recursos de chatarra, pueden reducir significativamente el consumo de recursos naturales minerales; la trituradora de chatarra juega un papel vital en el proyecto de reciclaje de chatarra, con buenas perspectivas para el desarrollo de aplicaciones. Una estructura de trituradora de chatarra y principio de funcionamiento de la trituradora de martillo es ampliamente utilizada en equipos de trituración para el desecho.

La trituradora de martillo está dividida en vertical y horizontal. La trituradora vertical se caracteriza por su pequeño tamaño, y estructura compacta. Y en comparación con la trituradora horizontal, su poder baja la densidad de fractura de reciclaje de residuos de embalaje. El dispositivo está equipado con material de acero reciclado utilizado para el tratamiento previo de gran tamaño.

La chatarra es transportada por maquinaria industrial, hacia la trituradora donde se cortará la misma en trozos de aproximadamente 15 cm, así también se separará por medio de imanes los materiales no ferrosos (los cuales no son utilizables para la elaboración de acero).

Una planta trituradora de chatarra *shredded* permite triturar y procesar la chatarra de clasificación No. 2 y convertirla en una chatarra de mayor densidad, es decir, en chatarra No. 1, y un separador magnético para separación de materiales no ferrosos.

Figura 7. Transporte de chatarra hacia trituradora



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en el kilómetros 65.5 en Masagua Escuintla, Guatemala, parque siderúrgico de Sidegua.

Figura 8. Planta trituradora de la chatarra



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en el kilómetros 65.5 en Masagua Escuintla, Guatemala, parque siderúrgico de Sidegua.

2.4.4. Horno de arco eléctrico

En este tipo de hornos, el arco pasa entre los electrodos a través de la chatarra; la corriente se suministra a los electrodos por medio de un transformador que regula el voltaje y los parámetros de la corriente de cada estadio de fusión, durante la fundición, cuando la mena está expuesta a altas temperaturas; estas impurezas se separan del metal fundido y se pueden retirar; la colección compuesta que se retira del horno de arco eléctrico es la escoria.

La carga del horno eléctrico está constituida de chatarra principalmente. En el baño se lleva a cabo una reacción de oxidación reducción. Durante la fusión oxidante se elimina el fósforo y durante la reductora, el óxido de hierro disuelto en el baño y el azufre. Controlar el tipo de atmósfera en el baño es fácil. El calor se encuentra en la parte superior de la carga, siendo necesario en general, usar bobinas electromagnéticas a fin de inducir a una agitación en el recipiente para que el material más frío del fondo alcance la parte superior, igualándose de esta forma la temperatura y la composición química.

Para generar escoria se añade cal, caliza, etc. El contenido en nitrógeno suele ser elevado debido a las altas temperaturas generadas inmediatamente por debajo de los electrodos (3,500 °C) aunque se mantiene a un nivel aceptable para la mayoría de los aceros. Las ferroaleaciones se añaden tanto al horno eléctrico como en horno olla, siendo este proceso el más adecuado para la fabricación de los aceros especiales. Aunque a veces pueden surgir problemas con el carbono desprendido de los electrodos de alta pureza, cocidos al vacío y de alta conductividad. Su tamaño es de 20-75 cm. de diámetro y 1.5 a 3 m. de longitud. Según se van quemando, se van añadiendo nuevos electrodos a su extremo opuesto.

Figura 9. **Horno de arco eléctrico 1**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en el kilómetros 65.5 en Masagua Escuintla, Guatemala, parque siderúrgico de Sidegua.

Figura 10. **Horno de arco eléctrico 2**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en el kilómetros 65.5 en Masagua Escuintla, Guatemala, parque siderúrgico de Sidegua.

2.4.5. Limpieza y enfriamiento

Durante la elaboración del acero, la escoria fundida, que se separa del acero es retirada por maquinaria adecuada y se lleva a depósitos sobre el suelo y se enfrían con chorros de agua; este proceso es conocido como trituración por agua. La escoria es un subproducto de la producción de acero fundido. Durante el proceso de fabricación, la escoria fundida flota sobre el acero fundido. La separación física de dos fases durante la fundición de metales, y en el proceso de eliminación de la escoria, es un proceso rutinario.

El proceso de enfriamiento de la escoria misma es un repositorio de energía térmica considerable y la recuperación de esta energía térmica en formas útiles, crea una oportunidad para la recuperación de costos. La escoria hecha por acero fundido es generada y disponible a 1,200-1,600°C. Un típico pote de escoria contiene 28,000 kg de escoria fundida.

En una típica planta de acero que produce 1, 000,000 toneladas por año, alrededor de 6,000 potes de escoria son generados por año desde el acero fundido. En una planta de acero, un contenedor (pote de escoria) que contiene una mezcla de metal, escoria sólida fundida, la cual es movida fuera de un área separada donde es botada, la escoria se devuelve rápidamente dentro de un servicio dentro de la planta de acero. Los esquemas de recuperación de energía que se basan en el uso de escoria en el pote tienen significativas barreras y necesitan espacio en el piso de la tienda dentro de la planta de acero.

Cualquier esquema que pueda reducir la confiabilidad o velocidad del proceso de fabricación del acero también significa barreras para la implementación.

Al parecer, el enfoque ideal deberá mantener la opción de botar la escoria en una pista interna como un modo seguro de operación, y rápidamente volver a los potes para el servicio.

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



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en el kilómetros 65.5 en Masagua Escuintla, Guatemala, parque siderúrgico de Sidegua.

Figura 12. **Enfriamiento**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en el kilómetros 65.5 en Masagua Escuintla, Guatemala, parque siderúrgico de Sidegua.

2.4.6. Planta trituradora de escoria

Posteriormente, una vez enfriada, se recoge la escoria mediante cargadores frontales y se alimenta la planta separadora magnética y cernidora, donde se recuperan todas las partículas metálicas para su reutilización en la acería. La escoria en su estado puro y de granulometría variada, es transportada hacia la planta trituradora, en la cual se separa en diferentes tamaños (0-1" y de 1"-3"). El proceso de producción de la línea de producción de escoria puede ser incluido como: almacenamiento, alimentador vibratorio, trituradora de mandíbulas, trituradora de impacto, criba vibratoria, productos finales; todos los equipos están conectados por la cinta transportadora y tolvas.

Figura 13. Planta trituradora de escoria



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en el kilómetros 65.5 en Masagua Escuintla, Guatemala, parque siderúrgico de Sidegua.

Figura 14. **Almacenamiento de escoria en diferentes tamaños**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en el kilómetros 65.5 en Masagua Escuintla, Guatemala, parque siderúrgico de Sidegua.

2.5. Propiedades típicas de la escoria siderúrgica

La escoria siderúrgica tiene propiedades químicas, físicas, mecánicas y térmicas; las cuales se describen a continuación.

2.5.1. Propiedades químicas

Virtualmente todas las escorias caen dentro de estos rangos químicos pero no todas las escorias de acería son convenientes como agregados. 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. Una tasa de enfriamiento lo suficientemente baja, permite que se formen los compuestos cristalinos. Los compuestos predominantes son los silicatos de calcio y de hierro, el aluminato de calcio, calcio, magnesio, óxido férrico, algo cal de libre y magnesio libre.

La escoria de horno eléctrico se obtiene del tratamiento metalúrgico de los minerales de hierro y resulta de la fusión de la ganga, de los constituyentes secundarios del mineral, de los residuos de combustión del carbón y adiciones calcáreas. La escoria sale del horno eléctrico luego del hierro, en forma fundida altamente viscosa, a temperaturas comprendidas entre 1,350 y 1,500°C. La producción de escoria en las plantas modernas es alrededor de 0.3 t/T de hierro.

La calidad de la escoria como adición mineral en el cemento está definida por los siguientes parámetros:

- La composición química
- La composición mineralógica
- El grado de vitrificación
- La finura

Los componentes químicos principales, el CaO (C), S_1O_2 (S), Al_2O_3 (A), y MgO (M), en conjunto representan más del 95% de los óxidos. La composición varía según el tipo de mineral que ingresa al proceso y la clase del fierro producido. La composición química de las escorias es usualmente expresada mediante límites, máximos y mínimos.

Del análisis químico se obtienen índices y módulos que caracterizan el comportamiento de la escoria y eventualmente sirven para el cálculo de la composición potencial.

El óxido de aluminio que aparece en el numerador y en algunos casos en el denominador, se debe a su carácter ambivalente ácido-básico. Los valores más elevados en los índices corresponden a las escorias de mejor calidad.

El empleo de los índices es útil para definir límites, pero no para establecer relaciones reales de comportamiento, si se considera que en ellos interviene únicamente parte de la composición, que no tienen en cuenta el grado de vitrificación, ni las características de activación particular a cada clinker.

2.5.2. Propiedades físicas

Se puede observar que las escorias de horno eléctrico son más densas que las de alto horno, ya que estas presentan mayor capacidad de absorción que las de horno eléctrico, debido entre otras cosas, a la mayor porosidad que tienen frente a las escorias de horno eléctrico. Comparando las propiedades físicas de las escorias con las de los áridos naturales, se pueden destacar los siguientes aspectos:

- La densidad de las escorias de horno eléctrico es superior a la de los áridos naturales; mientras que la densidad de las escorias de alto horno pese a ser algo inferior, presenta valores más similares.
- Las dos escorias son mucho más porosas que el árido natural, siendo la escoria de alto horno la más porosa de todas ellas.
- La capacidad de absorción, al estar fielmente ligada a la porosidad de los áridos, se observa que sube mucho en las escorias de alto horno, menos en las escorias de horno eléctrico, y que en los áridos naturales es relativamente baja.

Algunas propiedades físicas típicas de la escoria son:

- Gravedad específica valor = 3.2—3.6
- Peso unitario 1,600-1,920kg/m³
- Absorción de agua 3%

Debido a estas características resulta ser más pesada que la mayoría de agregados y posee gran resistencia a movimientos laterales, siendo muy útil en curvas y subidas cuando es utilizado en carpetas asfálticas.

2.5.3. Propiedades mecánicas

Se realizaron estudios de caracterización de reactividad y propiedades mecánicas en pastas de escoria de horno eléctrico activada por 5 sistemas alcalinos como NaOH, vidrio soluble y combinaciones de Na₂CO₃, Na₂SO₄ y Ca(OH)₂, en concentraciones de 5%.

Se prepararon cubos de 5 cm. por lado y se curaron durante 120 días a 20 y 60°C bajo agua. Los valores más altos de resistencia mecánica fueron registrados por el sistema de escoria activada con vidrio soluble, seguido por una de las combinaciones de 3 reactivos químicos; mientras que el desarrollo de propiedades mecánicas fue más pobre con la activación por NaOH.

El aumento en la temperatura de curado favoreció la resistencia a la compresión de escoria con vidrio soluble, superando a la del cemento portland en todos los tiempos de curado; para los otros sistemas el incremento de la temperatura de curado resultó perjudicial.

En contraste con las observaciones de resistencia mecánica, la reactividad observada por mediciones de agua no evaporable y disolución química selectiva, indicaron que la escoria es más reactiva en presencia de NaOH. Las propiedades mecánicas que presenta la escoria son:

- Excelente resistencia a la abrasión (prueba desgaste de los Ángeles 17-30%)
- Dureza (6.5-7 escala de Moh's)
- Pérdida de sulfato (menores 5%)
- CBR (150% hasta 200%)
- Alta resistencia a la pulimentación (alisar una superficie para que quede suave y brillante)

2.5.4. 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.

2.6. Utilización de escoria siderúrgica actualmente

La escoria tiene muchos usos comerciales y raramente se desecha. A menudo se vuelve a procesar para separar algún otro metal que contenga. Los restos de esta recuperación se pueden utilizar como balasto. El balasto generalmente se aplica como base de pavimentaciones, tanto de pavimentos continuos como el aglomerado de pavimentos por piezas, y el adoquinado.

De manera similar, el balasto de vía cumple la función de aportar estabilidad a la vía férrea, haciendo que permanezca con la geometría dada durante su construcción. Adicionalmente, cumple otras dos funciones importantes: distribuye las presiones que trasmite la vía al terreno, haciendo que sean admisibles para este, y permite el drenaje del agua de lluvia, evitando que se deteriore el conjunto.

También se ha utilizado como metal para pavimentación y como una forma barata y duradera de fortalecer las paredes inclinadas de los rompeolas; esta es una estructura costera que tiene por finalidad principal proteger la costa o un puerto de la acción de las olas del mar o del clima. Son calculados normalmente, para una determinada altura de ola, con un periodo de retorno especificado. El cálculo y diseño de una estructura marítima de este porte, así como de diques, molles o muelles, y otras estructuras marítimas, es diseñado por especialistas en ingeniería hidráulica. También se llaman cortaolas a una parte de los pilares de un puente, que tiene la finalidad de sustentar la presión del agua para frenar el movimiento de las olas.

A menudo se utiliza escoria granular de alto horno en combinación con el mortero de cemento portland como parte de una mezcla de cemento. Este tipo de escoria reacciona con el agua para producir propiedades cementosas. El mortero que contiene escoria granular de horno eléctrico desarrolla una gran resistencia durante largo tiempo, ofreciendo una menor permeabilidad y mayor durabilidad. Como también se reduce la unidad de volumen de cemento portland, el mortero es menos vulnerable al álcali-sílice y al ataque de sulfato.

La producción de acero genera una serie de escorias que se pueden emplear como áridos en la fabricación de las mezclas bituminosas.

Las escorias procedentes de estos procesos industriales son las de horno eléctrico y las escorias negras. Las escorias de horno eléctrico son residuos industriales formados por el proceso de fusión y afinación de la chatarra, que son separados de los demás porque tienen un menor peso específico. Por otro lado, las escorias negras son un residuo inerte sobrenadante al acero líquido, el cual se combina con las impurezas del metal fundido y se separa del líquido por su diferente densidad.

Las escorias actualmente se destinan a vertederos o rellenos, pero un uso potencial es como árido en capas de rodadura o como capas granulares en carreteras, desde la explanada, base y subbase. Las escorias a aplicar en capas granulares y bituminosas deben cumplir las especificaciones de los pliegos, y actualmente su uso se limita a carreteras con tráficos reducidos por la falta de resultados experimentales. De estos materiales, hay que tener en cuenta su posible expansividad e hinchamiento, como el requerimiento de homogeneización y tratamiento.

El transporte de las escorias como árido se encarece frente al árido convencional puesto que por su mayor densidad necesita mayor número de camiones. Otro inconveniente, es que al tener mayor porosidad, aumenta las necesidades de betún. La utilización de las diferentes escorias en aplicaciones ingenieriles ya se han fijado en los países más industrializados. Las prioridades en la aplicación y conocimientos varían ligeramente, pero suelen dirigirse todos a los mismos objetivos.

El mercado depende de las propiedades de la escoria en lugar de la fábrica de acero, el volumen producido, la relación entre el coste de los depósitos y la revalorización de la escoria.

Al surgir una nueva alternativa, las materias primas devienen más baratas al mercado; puesto que las aplicaciones en la ingeniería necesitan de altos volúmenes, el valor del producto baja relativamente. Estos requisitos pueden ser fácilmente cumplidos por las escorias siempre que el lugar de producción esté cercano al lugar de construcción.

Para sacar ventaja de las propiedades más prometedoras de las escorias de acero, la superior resistencia a la fricción y a la formación de roderas, se piensa principalmente en las mezclas bituminosas para capas superficiales, que afectan principalmente en este estudio. Estas son pavimentos de mezclas calientes o frías o de tratamientos, superficiales. El incremento del tráfico y del peso por ejes, exige pavimentos de mayor resistencia, para los cuales las escorias de acero pueden proveer soluciones satisfactorias.

Toda vez que el avance de los pavimentos asfálticos tiende a porcentajes de espacios mayores para reducir el ruido de rodadura, los áridos siderúrgicos pueden suministrar las propiedades para llegar a los requisitos de alta resistencia a la abrasión y al pulimento. De todas formas, la alta densidad del acero, que es de un 40 al 50% más alto que la densidad de componentes naturales como el granito, pueden hacerlo poco atractivo económicamente, ya que aumenta el coste de transporte. Otro aspecto negativo, surge de la inestabilidad volumétrica, que puede causar fisuras en la superficie del pavimento.

En la práctica, además del detrimento de la escoria molida, se intenta evitar la expansión intercambiando la fracción fina de los áridos siderúrgicos por los áridos naturales como el granito, ya que las partículas más pequeñas presentan una mayor inestabilidad volumétrica a primera vista.

Hay que recalcar que este procedimiento sólo es efectivo a corto plazo, ya que las partículas gruesas todavía están aumentando cuando las finas ya han terminado su transformación. A largo plazo, la aportación del grano empleado será en partes alícuotas a la expansión total. No obstante, las mezclas bituminosas son capaces de asimilar un pequeño porcentaje de expansión.

La resistencia al impacto y la demolición hacen plausible la escoria para la construcción de otras capas como bases granulares, subbases o terraplenes, aunque el interés comercial sobre las escoria está sobre el mayor valor de las capas superficiales. Las carreteras de bajo tráfico construidas sin mezclas y con escorias de acero, hacen uso de las partículas de la solidificación carbonático, que incrementan la capacidad de soporte y una estabilidad superficial resistente a la deformación y evitan polvo, incluso después largos periodos de sequedad.

Desde el punto de visto medioambiental, el impacto del reciclaje de la escoria en las aplicaciones ingenieriles, depende de un factor elevado. Esto es, si se emplea de una forma suelta como en los terraplenes y en bases granuladas, o en una mezcla superficial, puede consistir en una base cementosa o bituminosa. Su aplicación en pavimentos superficiales veta teóricamente el contacto con el agua, aunque debe tenerse en cuenta las grietas y los poros.

Teóricamente, ni la lluvia ni el agua superficial pueden ponerse en contacto con el árido. De esta forma, el comportamiento de lixiviación de la escoria varía en función del tipo de uso. Por lo tanto, los distintos campos de aplicación en la industria de la construcción son los que ofrecen posibilidades más importantes para emplear la escoria de horno eléctrico.

La escoria de acero parece ofrecer algunas ventajas sobre los agregados naturales y otros materiales posibles como en carreteras previstas a soportar altas cargas y alta abrasión como en la construcción de carreteras y canales. Sin embargo, se requiere mejorar la investigación y desarrollo de su uso en las carreteras para mejorar el impacto ambiental. Dichos materiales se justifican a continuación, de acuerdo con la construcción prevista:

- Caminos secundarios (balasto)
- Carreteras en servicios (carpetas asfálticas)
- Estacionamientos (carpeta asfáltica)
- Hombrillos en rutas (balasto)
- Rellenos (agregado)
- Agregados de rugosidad (carpetas de rodadura)
- Medio filtrante para fosas sépticas y drenajes (agregado grueso)
- Balasto de vías de ferrocarril (agregado grueso)

3. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO CON ESCORIA COMO AGREGADO GRUESO

3.1. Descripción de estudios a realizar

Se realizará un estudio de la escoria siderúrgica como agregado grueso en tamaño aproximado de $\frac{3}{4}$ " a 1" en lo que respecta a trabajabilidad, granulometría de los agregados, desgaste por abrasión, reactividad potencial, entre otros. Dichos análisis de escoria se mezclarán con cementos de variada resistencia, de venta en el mercado actual; estas mezclas darán las mayores resistencias a los 7 y 28 días de fraguado, para ser utilizados como una carpeta de rodadura.

3.2. Desarrollo experimental

La investigación y el desarrollo experimental comprenden el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática, para incrementar el volumen de los conocimientos humanos.

3.2.1. Granulometría de agregado grueso norma C-136

Este método de prueba se utiliza principalmente para determinar la clasificación de los materiales propuestos para su uso como agregados. Los resultados sirven para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partícula con las especificaciones aplicables según los requisitos, y proporcionar los datos necesarios para el control de productos agregados diversos y mezclas.

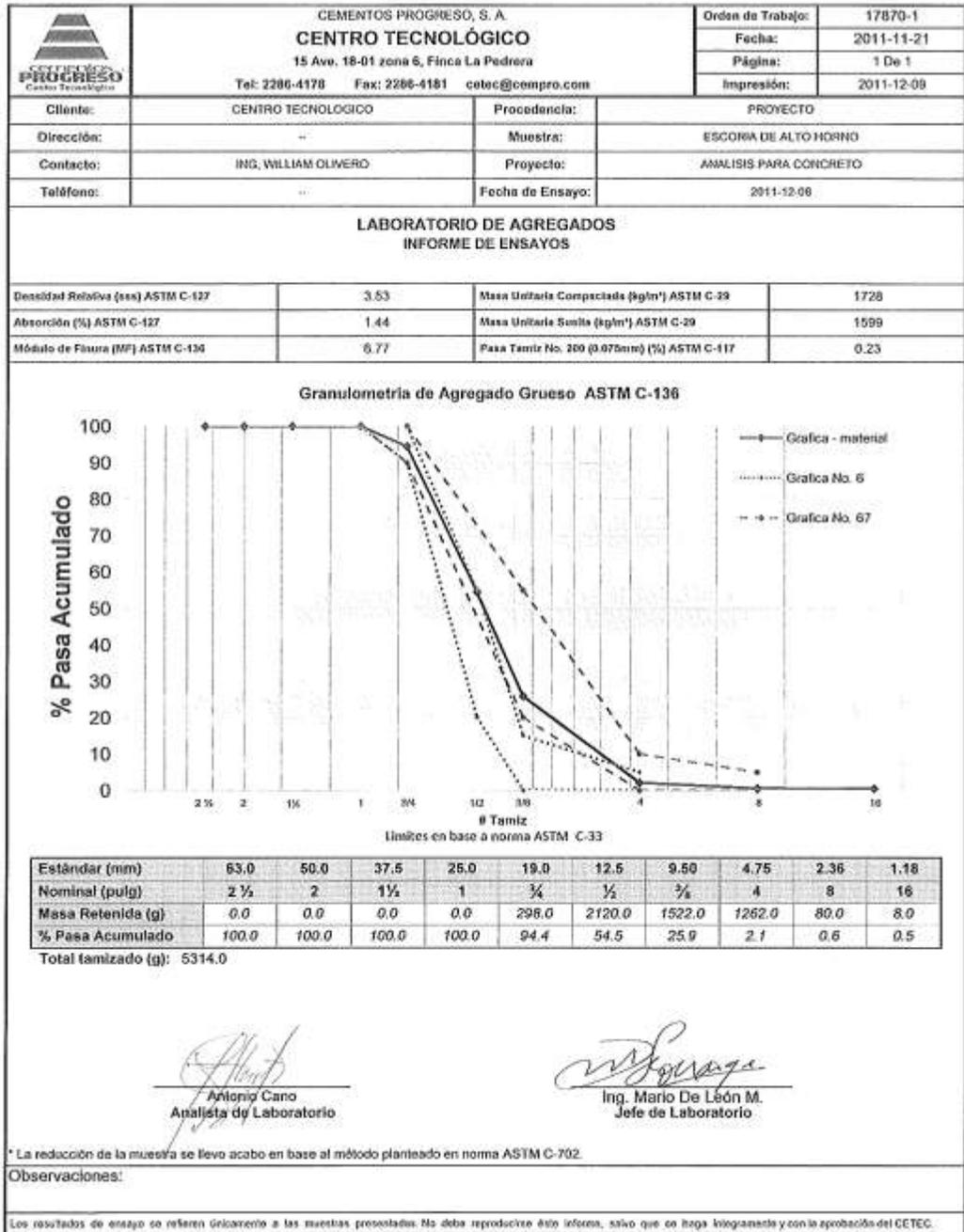
Los datos también pueden ser útiles en el desarrollo, en relación con la porosidad y el embalaje. Para fines de control, especialmente cuando se desean resultados rápidos, generalmente no es necesario secar agregado grueso para el análisis granulométrico prueba. Los resultados son poco afectadas por el contenido de humedad a menos que: el tamaño máximo nominal menor que aproximadamente 12.5 mm. (1/2 pulgadas), el grueso agregado contenga el material más fino apreciable de 4.75 mm. (No. 4), o el agregado grueso sea altamente absorbente (un árido liviano, por ejemplo).

Además, las muestras se puede secar a temperaturas más altas asociadas con el uso de placas calientes sin resultados que afectan; siempre el vapor escapa sin generar presiones suficientes para fracturar las partículas, y las temperaturas no son tan grandes como para causar la descomposición química del agregado.

La selección de tamices con aberturas adecuadas sirve para proveer la información requerida por las especificaciones que cubre el material que se ha probado. Deben utilizarse tamices adicionales que se deseen o sean necesarios para proporcionar otro tipo de información, tales como módulo de finura, o para regular la cantidad de material sobre un tamiz. Para dicho ensayo se necesita colocar los tamices en orden decreciente de tamaño de la abertura de arriba a abajo y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Agitar los tamices a mano o mediante un aparato mecánico para un período suficiente establecido por ensayo, o revisado por la medición de la muestra de prueba real.

Se debe limitar la cantidad de material sobre un tamiz, dado de modo que todas las partículas tengan oportunidad de llegar a las aberturas un número de veces, durante la operación de tamizado.

Figura 15. Ensayo granulometría de agregado grueso escoria



Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

3.2.2. Reactividad álcali-carbonato (ensayo químico)

Este método permite determinar, por vía química, la reactividad potencial álcali-carbonato de los agregados, determinando la relación CaO/MgO del agregado, así como su contenido en Al_2O_3 .

La constancia de la existencia de la reacción álcali-carbonato viene dándose desde los años sesenta; numerosos estudios se han llevado a cabo desde entonces, con el fin de conocer el mecanismo y las condiciones que hacen más favorable este tipo de fenómeno.

La reacción álcali-carbonato se presenta en hormigones que contienen áridos provenientes de rocas de naturaleza dolomítica, resultando en algunos casos la formación de productos nocivos que pueden causar expansiones o fisuras en el mismo. Los áridos no presentarán reactividad potencial con los alcalinos del hormigón (procedentes del cemento o de otros componentes).

Para su comprobación se realizará, en primer lugar, un estudio petrográfico, del cual se obtendrá información sobre el tipo de reactividad que, en su caso, puedan presentar.

Si del estudio petrográfico del árido se deduce la posibilidad de que presente reactividad álcali-sílice o álcali-silicato, se debe realizar el ensayo descrito en la UNE 146508:1999 (método acelerado en probetas de mortero). Si del estudio petrográfico del árido se deduce la posibilidad de que presente reactividad álcali-carbonato, se debe realizar el ensayo descrito en la UNE 146507-2:1999 (determinación de la reactividad álcali-carbonato).

Si a partir de los resultados de algunos de los ensayos prescritos para determinar la reactividad se deduce que el material es potencialmente reactivo, el árido no se podrá utilizar en ambientes favorables al desarrollo de la reacción álcali-árido, salvo en el caso de obras especiales u obras en que no existan otros suministros viables, en las cuales podrá emplearse el árido calificado a priori, como potencialmente reactivo, sólo si son satisfactorios los resultados del ensayo de reactividad potencial a largo plazo, sobre prismas de hormigón, según UNE 146509:1999. Conforme a este procedimiento, se consideran aptos los áridos cuya expansión al finalizar el ensayo sea menor o igual al 0.04%.

Ciertos tipos de rocas de naturaleza silíceas (por ejemplo, ópalos y dacitas) así como otras que contienen sustancias carbonatadas magnesianas (por ejemplo, dolomitas), pueden provocar fenómenos fuertemente expansivos en el hormigón, en ciertas condiciones higrotérmicas y en presencia de los álcalis provenientes de los componentes del hormigón (reacción árido-álcali). Otros tipos de reacciones nocivas pueden presentarse entre el hidróxido cálcico liberado durante la hidratación del cemento y áridos que provienen de ciertas rocas magmáticas o metamórficas, en función de su naturaleza y estado de alteración. Por ello, cuando no exista experiencia de uso, se prescribe la realización de ensayos de identificación en un laboratorio especializado.

Los agregados del tipo de la escoria siderúrgica pueden contener partículas minerales que en algunas condiciones de exposición del concreto sufran un cambio excesivo en su volumen, con lo que se provoca la ruptura de la superficie del concreto, o bien, pueden crear esfuerzo interior suficiente como para causar agrietamiento y menoscabar la integridad estructural del propio concreto.

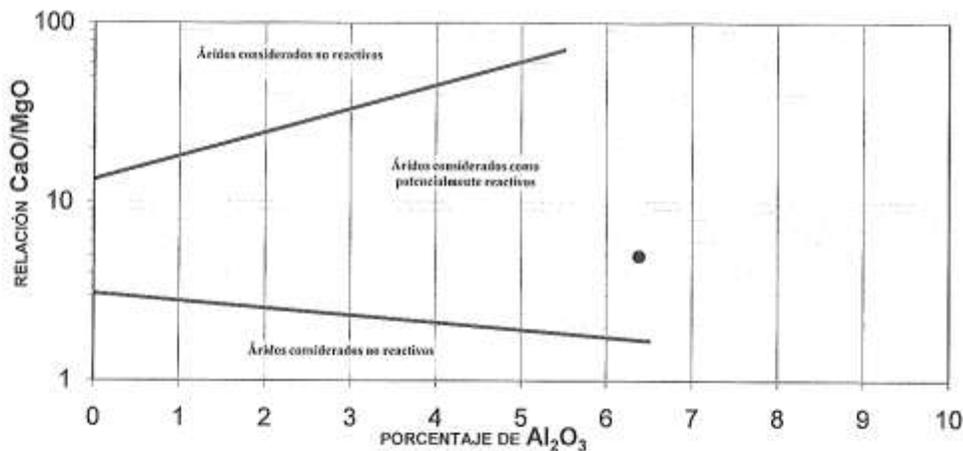
Figura 16. Ensayo químico reactividad álcali-carbonato de la escoria

	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181 cetec@cempro.com		OT	17822
			FECHA	2011-11-09
			PÁGINA	1 DE 1
			ÁREA DE LAB.	QC
Cliente	CENTRO TECNOLÓGICO	Procedencia	ACEROS DE GUATEMALA	
Dirección	15 AVE. 18-01 ZONA 6 LA PEDRERA	Muestra	ESCORIA DE ALTO HORNO	
Contacto	ING. WILLIAM OLIVERO	Analista(s)	JORGE GÓMEZ	
Teléfono	2286-4100	Fecha de Ensayo	2011-11-12	

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO QUÍMICO

REACTIVIDAD ÁLCALI-CARBONATO

MÉTODO UNE 146507-2 EX



*Porcentaje de Al_2O_3 **6.38**

*Relación de CaO/MgO **5.00**

POTENCIALMENTE REACTIVO

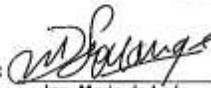
*Determinado Mediante Difracción de Rayos X en el Lab. De Control de Calidad de Cementos Progreso.

OBSERVACIONES:

ANALISTA:



AUTORIZADO POR:


 Ing. Mario de León
 Jefe de Laboratorio

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

SGL-CT-QC-IE-04/Rev.02

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

3.2.3. Desgaste por abrasión e impacto norma ASTM C-131

Esta prueba es una medida de la degradación de los agregados minerales de gradaciones estándar que resultan de una combinación de acciones, entre ellas la abrasión o desgaste, impacto y molienda en un tambor giratorio de acero que contiene un número especificado de esferas de acero; dicho número depende de la clasificación de la prueba muestra. A medida que el tambor gira, una placa de estantería recoge la muestra y las esferas de acero, llevando a su alrededor hasta que se coloca en el lado opuesto del tambor, creando un impacto sobre el mismo. El contenido entonces rueda dentro del tambor con un lijado y pulido de acción hasta que la placa recoge la plataforma muestra y las bolas de acero, y el ciclo se repite.

Después del número de revoluciones, los contenidos se eliminan desde el tambor y la porción de agregado se tamiza para medir la degradación como pérdida por ciento.

La resistencia a la abrasión o al desgaste o dureza de un agregado, es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca madre, en este caso, la escoria siderúrgica. Este factor cobra importancia cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como es el caso de los pavimentos, para lo cual los agregados que se utilizan deben ser lo más duros posible.

Este ensayo ha sido ampliamente utilizado como un indicador de la calidad relativa o la competencia de varias fuentes de áridos con composiciones minerales similares. Los resultados de forma automática permiten comparaciones válidas entre fuentes muy diferentes en su origen, composición o estructura.

Se deben asignar los límites de especificación con extremo cuidado en la consideración de los tipos de agregados disponibles y su historial de rendimiento en usos finales específicos. Esta es la prueba que más aplica para averiguar la calidad global estructural del agregado grueso de abrasión.

3.2.4. Porcentaje de cara fracturada en los agregados ASTM D 5821- 95

Algunas especificaciones técnicas contienen requisitos relacionados con el porcentaje de agregado grueso con caras fracturadas con el propósito de maximizar la resistencia al esfuerzo cortante, con el incremento de la fricción entre las partículas. Otro propósito es dar estabilidad a los agregados empleados para carpeta o afirmado, y dar fricción y textura a agregados empleados en pavimentación. La forma de las partículas de los agregados puede afectar la trabajabilidad durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactarla a la densidad requerida y la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida de servicio.

Las partículas irregulares y angulares, generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que se entrelazan al ser compactadas. El mejor entrelazamiento se da, generalmente, con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas casi siempre por trituración. Por ser la escoria siderúrgica un material de forma rugosa y de origen ferroso, este tipo de ensayo no se realizó, pero se menciona ya que es uno de los más necesarios para la elaboración de pavimentos rígidos según el libro azul.

Figura 17. **Ensayo desgaste por abrasión de la escoria ASTM C-131**

	CEMENTOS PROGRESO, S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181 cefec@cempro.com		Orden de Trabajo:	17776-2						
			Fecha:	2011-10-26						
			Página:	1 De 1						
			Impresión:	2011-10-28						
Cliete:	CENTRO TECNOLÓGICO	Procedencia:	SIDEQUA MAZAGUA							
Dirección:	--	Muestra:	ESCORIA DE SIDERURGIA							
Contacto:	ING. WILLIAM OLIVERO	Proyecto:	PRUEBAS DE CONCRETO							
Teléfono:	--	Fecha de Ensayo:	2011-10-28							
LABORATORIO DE AGREGADOS INFORME DE ENSAYO										
Desgaste por Abrasión e Impacto en Máquina de Los Ángeles ASTM C-131 para agregado menor a 1 5/8".										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>Graduación</th> <th>Desgaste %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ESCORIA DE SIDERURGIA</td> <td>B</td> <td>20.7</td> </tr> </tbody> </table>					Muestra	Graduación	Desgaste %	ESCORIA DE SIDERURGIA	B	20.7
Muestra	Graduación	Desgaste %								
ESCORIA DE SIDERURGIA	B	20.7								
Atentamente,										
 Antonio Cano Analista de Laboratorio		 Ing. Mario De León M. Jefe de Laboratorio								
* La reducción de la muestra se llevo a cabo en base al método planteado en norma ASTM C-702.										
Observaciones:										
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.										

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

3.2.5. Reactividad potencial álcali sílice de los agregados

Para la elaboración de concreto debe evitarse el uso de agregados, finos y gruesos que contengan rocas y minerales identificados como potencialmente reactivos con los álcalis. Esto es aplicable cuando el concreto en servicio vaya a estar en contacto permanente, o en periodos prolongados con agua, o rodeado de condiciones húmedas (humedad relativa $\geq 80\%$).

Este método de ensayo cubre la determinación química de la reactividad potencial de un agregado con los álcalis en concreto hidráulico, como se indica por la cantidad de reacción durante 24 horas a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. entre 1 N solución de hidróxido de sodio y agregado que ha sido aplastado, y se tamizó para pasar un tamiz de 300 y quedar retenido en un tamiz de 150.

Este método de ensayo puede ser utilizado en combinación con otros métodos para evaluar la reactividad potencial de árido silíceo con los álcalis de cemento portland en concreto. Los resultados de este método de ensayo pueden obtenerse rápidamente, y aunque no es completamente fiable en todos los casos, se proporcionan datos útiles que pueden mostrar la necesidad de obtener información adicional a través método de ensayo C-227.

Estos agregados deben ser considerados para indicar un grado potencialmente nocivo de la reactividad, hasta que el carácter inocuo del agregado se demuestra por servicio de registros o pruebas complementarias, de conformidad con método de ensayo C-227, utilizando varias mezclas de la prueba agregada y un agregado esencialmente inerte, tal como se ha clasificado sin colar cuarzo o piedra caliza cuarzo libre.

Las mezclas deben representar una serie de proporciones de la prueba y agregado esencialmente inerte que varía desde aproximadamente 5:95 a 50:50 por masa. Los resultados de la prueba pueden no ser correctos para los agregados que contienen carbonatos de calcio, magnesio o hierro ferroso, tales como calcita, dolomita, magnesita, o siderita, o silicatos de magnesio como antigorita.

Probablemente, la identificación positiva y la asignación del grado de destructibilidad de los tipos de agregado grueso que contribuyen a la destrucción por congelación y deshielo del concreto es el asunto más problemático con el que se encara en la actualidad tanto el productor como el consumidor de los agregados para pavimento rígidos. Por lo tanto, este ensayo influirá notablemente en las condiciones que se necesitan para que dicho concreto elaborado con escoria siderúrgica esté en periodos prolongados de humedad.

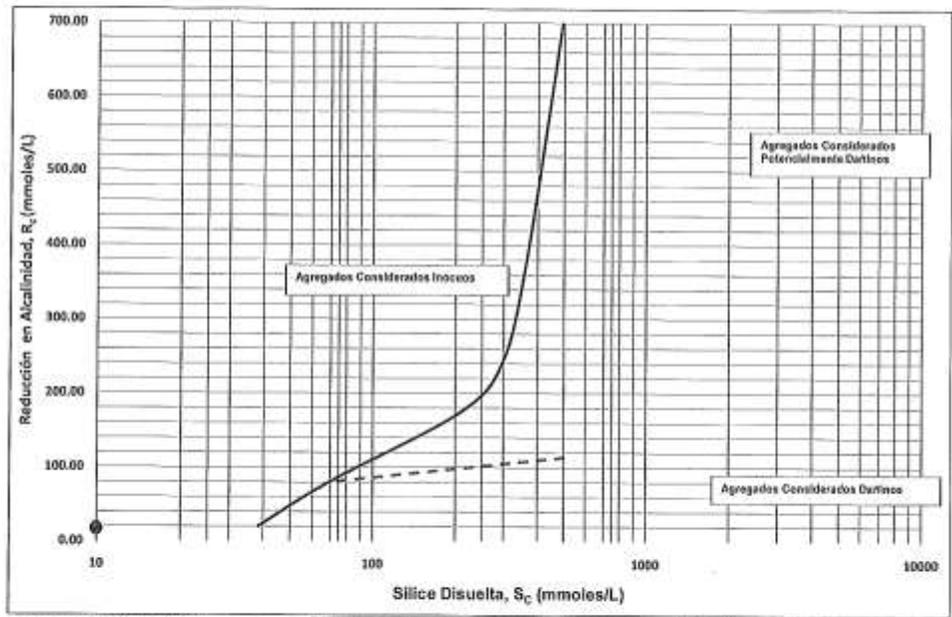
El método ASTM C-227 (ensayo de la barra de mortero para determinar la reactividad potencial) es el más utilizado para indicar el potencial de reactividad frente a los álcalis. El apéndice de la norma ASTM C-33 indica los criterios de aceptación que se utilizan para evaluar los resultados de los ensayos realizados conforme a la norma ASTM C-227. Este procedimiento es útil no sólo para evaluar los agregados, sino también para evaluar combinaciones particulares de cementos y agregados.

Es necesario cuidar que las barras nunca pierdan humedad. Estudios recientes sugieren que el ensayo de la barra de mortero no siempre puede garantizar una correcta determinación de la reactividad expansiva de los agregados en el hormigón en obra.

Figura 18. Ensayo reactividad potencial álcali sílice a la escoria

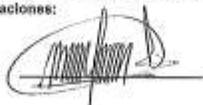
	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 58-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864161 ces@compro.com		OT	17776
			FECHA	2011-10-25
			PÁGINA	1 DE 1
			ÁREA DE LAB.	QC
Cliente	CENTRO TECNOLÓGICO	Procedencia	SIDEGUA: PRUEBAS DE CONCRETO	
Dirección	15AVE. 58-01 ZONA 6 LA PEDRERA	Muestra	ESCORIA DE SIDERURGIA	
Contacto	ING. WILLIAM OLIVERO	Analista(s)	MARCOS GÓMEZ	
Teléfono	2286-41-00	Fecha de Ensayo	2011-11-01 / 2011-11-02	

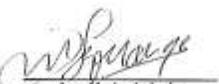
INFORME DE ENSAYO LABORATORIO QUÍMICO
REACTIVIDAD POTENCIAL ÁLCALI SÍLICE DE LOS AGREGADOS
MÉTODO QUÍMICO ASTM C 289



*Silice Disuelta mM/L (Sc):	-0.11	INOCUOS
Reducción en Alcalinidad mM/L (Rc):	16.67	

*Determinado mediante Espectrofotometría UV - VIS.
 Observaciones:

ANALISTA: 

AUTORIZADO POR: 
 Ing. Mario de León
 Jefe de Laboratorio

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

SGI-CT-QC-IE-03/REV 03

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

3.2.6. Análisis químico mediante difracción de rayos X

La determinación estructural del análisis químico es el proceso de determinar la estructura de una sustancia química. Prácticamente, el resultado final de tal proceso es la obtención de las coordenadas de los átomos en la molécula, las distancias entre ellos y los ángulos entre sus enlaces.

Los métodos por los que se puede determinar la estructura de una molécula son muy variados: existen diversos métodos de espectroscopía, tales como la resonancia magnética nuclear (RMN), espectroscopía infrarroja y espectroscopía Raman, microscopía electrónica, y cristalografía de rayos X (difracción de rayos X).

Esta última técnica puede producir modelos 3D con resolución atómica, siempre que la sustancia esté en forma de cristales, pues la difracción de rayos X necesita numerosas copias de la molécula que está siendo analizada, que debe estar por tanto, dispuestas de una manera organizada, como en el estado cristalino.

La cristalografía de rayos X es una técnica experimental para el estudio y análisis de materiales, basada en el fenómeno de difracción de los rayos X por sólidos en estado cristalino.

Los rayos X interactúan con los electrones que rodean los átomos por ser su longitud de onda del mismo orden de magnitud que el radio atómico. El análisis de rayos X emergente tras esta interacción contiene información sobre la posición y tipo de átomos encontrados en su camino.

En un cristal donde la disposición de los átomos o moléculas se repite periódicamente, los haces de rayos X dispersados elásticamente por los átomos en ciertas direcciones, resultan amplificados gracias al fenómeno de interferencia constructiva, dando lugar a un patrón de difracción. Los rayos X difractados son interceptados por detectores, y su intensidad y posición analizadas por medios matemáticos para obtener una representación de las moléculas del material estudiado a escala atómica.

Para las aplicaciones que requieren sólo una caracterización precisa de los parámetros de la red cristalina, puede ser suficiente la difracción de rayos X por polvo; para una dilucidación precisa de las posiciones atómicas se prefiere trabajar con monocristales. La mayor limitación de este método es la necesidad de trabajar con sistemas cristalinos, por lo que no es aplicable a disoluciones, a sistemas biológicos in vivo, a sistemas amorfos o a gases.

En algunos casos, los rayos X pueden romper los enlaces químicos que mantienen la integridad estructural, lo que resulta en un modelo distorsionado de la molécula estudiada. Este problema afecta especialmente a los materiales de interés biológico.

La cristalografía de rayos X se utiliza no solo para obtener estructuras desconocidas, sino también para determinar la composición de muestras de suelos o minerales, así como para la identificación de metales y otros elementos. Cada sustancia mineral forma cristales con una celda unidad y simetría determinada, que resulta en un patrón de difracción característico.

Figura 19. Ensayo de análisis químico a la escoria

	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 AVE. 18-01, ZONA 9 LA PEDRERA Tel: 22864178 Fax: 22864181 ceter@cmpro.com		OT	17822
			FECHA	2011-11-09
			PÁGINA	1 DE 1
			ÁREA DE LAB.	QC
Cliente	CENTRO TECNOLÓGICO	Procedencia	ACEROS DE GUATEMALA	
Dirección	15 AVE. 18-01 ZONA 9 LA PEDRERA	Muestra	ESCORIA DE ALTO HORNO	
Contacto	ING. WILLIAM OLVERO	Analista(s)	MARCOS GÓMEZ	
Teléfono	2286-4100	Fecha de Ensayo	2011-11-12	

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO QUÍMICO

ANÁLISIS QUÍMICO

*MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X**

COMPOSICIÓN QUÍMICA**	
SiO ₂ , %	13.20
Fe ₂ O ₃ , %	46.05
Al ₂ O ₃ , %	6.38
CaO, %	21.96
MgO, %	4.39
K ₂ O, %	0.06
Na ₂ O, %	0.51
SO ₃ , %	0.05
P ₂ O ₅ , %	0.26
TiO ₂ , %	0.52
Cr ₂ O ₃ , %	1.02
MnO, %	5.60
LOI (950 °C), %	0.00
Total, %	100.00

* El ensayo se realizó en el Laboratorio de Control de Calidad de Cementos Progreso.

** Expresada como porcentaje en masa (w/w).


 Analista


 Ing. Mario de León.
 Jefe de Laboratorio

OBSERVACIONES

PROYECTO: PRUEBAS DE CONCRETO

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

SGL-CT-QC-IF-01/REV 02

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

3.2.7. Diseño de mezcla para concreto con diferentes cementos

Es un proceso que consiste en calcular las proporciones de los elementos que forman el concreto, con el fin de obtener los mejores resultados. Existen diferentes métodos de diseños de mezcla; algunos pueden ser muy complejos como consecuencia de la existencia de múltiples variables de las que dependen los resultados de dichos métodos; aún así, se desconoce el método que ofrezca resultados perfectos; sin embargo, existe la posibilidad de seleccionar alguno según sea la ocasión.

En ciertas oportunidades, no es necesario tener exactitud en cuanto a las proporciones de los componentes del concreto; en estas situaciones se frecuenta el uso de reglas generales, lo que permite establecer las dosis correctas a través de recetas que permiten contar con un diseño de mezcla apropiado para estos casos.

Se deben tomar en consideración las características más importantes de los agregados, la granulometría y el tamaño máximo.

Respecto de la granulometría, sólo se deben usar piedras o arenas balanceadas en sus diferentes tamaños de granos, sin exceso o ausencia. Existen tres alternativas correspondientes al tamaño máximo que se vaya a usar. El agua debe aplicarse con una cantidad tal que se mantenga la trabajabilidad, y la colocación de moldes y encofrados. Esta dosis debe ser lo más precisa posible, ya que un exceso de agua disminuye la resistencia; por ello los encargados de esta tarea deben tener experiencia mínima exigida.

Es necesario disponer de un procedimiento detallado, preciso y complejo para obtener resultados óptimos en cuanto a cantidades y proporciones de los componentes del concreto se refiere; así existe la posibilidad de tomar en cuenta los posibles cambios que afectan las características de los componentes, incrementando así mayor índice de calidad.

Algunos métodos son probados en laboratorio y en plantas de preparación comercial; el que se mencionará a continuación dio excelentes resultados y es muy usado en el caso del empleo de agregados poco controlados. Se basa en cuatro aspectos fundamentales; dosis de cemento, trabajabilidad, relación agua-cemento y resistencia; todos estos fundamentos se relacionan a través de dos leyes: relación triangular y la ley de Abrams. También toma en cuenta dos variables importantes: tamaño máximo y tipos de agregados, además de explicar la calidad del cemento y el efecto reductor del agua de los aditivos químicos en su parte final, la incorporación de aire, la presencia elevada de ultrafinos o el empleo de dos o más agregados.

El método explica de forma independiente la proporción entre agregado fino y grueso, también la granulometría del agregado combinado, lo que permite cambiar dicha proporción sin alterar la dosis de los demás componentes.

3.2.8. Cemento UGC

Es un cemento portland con puzolanas, que cumple con los requisitos de las normas para cementos hidráulicos ASTM C1157. El cemento Progreso UGC, corresponde a una categoría de resistencia de 4,000 psi (28 N/mm²), expresada como medida de fuerza por unidad de área, en libras por pulgada cuadrada (o en Newtons por milímetro cuadrado, que es su equivalente en el sistema internacional de unidades (SI)).

Este es un cemento portland con adición de puzolana natural y se clasifica como cemento para uso general en la construcción. Esto quiere decir que por las características propias de este, puede ser utilizado en prácticamente todas las actividades típicas de la construcción, en especial en la fabricación de concreto premezclado y mezclado en obra y en la elaboración de morteros de diferentes tipos.

3.2.9. Cemento CFB

Es un cemento portland con adición de puzolana natural que cumple con los requisitos de las normas para cementos hidráulicos ASTM C1157 y COGUANOR NGO 41095. El cemento Progreso para fabricantes corresponde a una categoría de resistencia de 3,460 psi (24 N/mm²) a los 3 días.

La categoría de resistencia de 3,460 psi (24 N/mm²) significa que esta es la resistencia mínima a compresión en mortero de cemento-arena normalizada (ASTM C109) a los 3 días, expresada como medida de fuerza por unidad de área, en libras por pulgada cuadrada (o en Newtons por milímetro cuadrado) que es su equivalente en el sistema internacional de unidades (SI).

Es un cemento portland de alta resistencia inicial con adición de puzolana natural y es de excelente calidad para fabricantes de bloques de concreto, tubos y otros elementos prefabricados de concreto (postes, viguetas, paneles, etc.).

3.2.10. Cemento estructural

Es un cemento portland con adición de puzolana natural que cumple con los requisitos de las normas para cementos hidráulicos ASTM C1157 y COGUANOR NGO 41001.

El Cemento Progreso estructural 5,800, proporciona una resistencia mínima de 5,800 psi (40N/mm^2) a los 28 días, en ensayos de mortero de cemento con arena normalizada (ASTM C109).

Es un cemento portland de alta resistencia Inicial con adición de puzolana natural. Es ideal para edificar estructuras con mayores resistencias mecánicas, como edificios altos, pavimentos y puentes, o cuando se requiere un aumento de resistencia a edades tempranas.

Figura 20. Ensayo de mezcla con cemento UGC 3,000 PSI

		CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181		OT: 17877-0 FECHA: 2011-12-09 PÁGINA: 1 de 1 IMPRESIÓN: 2012-01-11	
Cliente: CETEC Dirección: 15 AV. 15-01 ZONA 6 Contacto: ING. WILLIAM OLIVERO Teléfono: 2286-4100		Procedencia: SIDESUA Proveedor: CONCRETO CON ESCORIA Y CEMENTO UGC 3000 Analista(s): JUAN JOSE / CESAR GUTIERREZ		TIPO DE FALLA 	
Fecha de ensayo: 2011-12-10					

INFORME DE DISEÑO DE MEZCLA

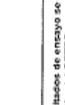
Formulación de Diseño de Mezcla		Resistencia a Compresión													
Material	Cantidad (kg/m³)	No. Cil	Asent. (mm)	Rat. A/C	% Aire	M. (kg/m³)	Fecha de Hec. (d)	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Tipo de Concreto	Meza (kg)	Área (mm²)	Resistencia a Compresión (N/mm²)	Resistencia a Compresión (ASTM C39) (ksi)	Tipo de Falla
Cemento	316	1	133.35	0.59	5	2559	2011-12-10	2011-12-17	7	MR 500psi	14.6	18242	20.20	2930	3
Agua	186	2	133.35	0.59	5	2559	2011-12-10	2011-12-17	7	MR 500psi	14.57	18242	20.08	2912	3
Agregado Fino No. 1	998	3	133.35	0.59	5	2559	2011-12-10	2011-12-17	7	MR 500psi	14.53	18242	22.51	3285	3
Agregado Fino No. 2	-	4	133.35	0.59	5	2559	2011-12-10	2012-01-07	28	MR 500psi	14.57	18242	26.77	3883	1
Agregado Grueso No. 1	1049	5	133.35	0.59	5	2559	2011-12-10	2012-01-07	28	MR 500psi	14.5	18242	26.31	3816	1
Agregado Grueso No. 2	-	6	133.35	0.59	5	2559	2011-12-10	2012-01-07	28	MR 500psi	14.63	18242	27.12	3934	1
Agregado Grueso No. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aditivo (m/kg) POLYHEED 789	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS-Agregado Fino No. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS-Agregado Grueso No. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS-Agregado Grueso No. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS-Agregado Grueso No. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Observación:		Trabajabilidad: BUENA		Apariencia: BUENA		 Analista Encargado									

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga integramente y con la aprobación del CETEC.

SGL-CT-QP-IE-011 Rev. 0

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Figura 21. Ensayo de mezcla con cemento CFB 4,000 PSI

		CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181			OT: 17877-4 FECHA: 2011-12-08 PAGINA: 1 de 1 IMPRESIÓN: 2012-01-11											
Cliente: CETEC Dirección: 15 AV. 15-07 ZONA 6 Contacto: ING. WILLIAM OLIVERO Teléfono: 2286-4180		Proyecto: CONCRETO CON ESCORIA Y CEMENTO CFB 4000 Analista(s): RAFAEL GRUJALVA / CESAR GUTIERREZ Procedencia: SIDEGUA Fecha de ensayo: 2011-12-13			TIPO DE FALLA 											
INFORME DE DISEÑO DE MEZCLA																
Formulación de Diseño de Mezcla																
Materia	Cantidad (kg/m ³)	Tipo y/o Procedencia	No. Cil.	Asent. (mm) ASTM C-138	Rat. A/C	Rat. % Aire ASTM C-231	% Aire ASTM C-231	M.L.U. (kg/m ³) ASTM C-138	Fecha de Hecchura	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Tipo de Concreto	Masa (kg)	Area (mm ²)	Resistencia a Compresión ASTM C-39 (N/mm ²)	Tipo de Falla
Cemento	369	UIGC	1	101.60	0.95	5	2832	2011-12-13	2011-12-20	7	MR 550psi	14.76	18242	45.53	6616	3
Agua	159	AGUIA	2	101.60	0.59	5	2832	2011-12-19	2011-12-20	7	MR 550psi	14.81	18242	45.54	6605	3
Agregado Fino No. 1	970	AGREDA	3	101.60	0.59	5	2832	2011-12-19	2011-12-20	7	MR 550psi	14.82	18242	44.67	6479	3
Agregado Fino No. 2	-	-	4	101.60	0.59	5	2832	2011-12-19	2012-01-10	26	MR 550psi	14.86	18242	51.28	7437	3
Agregado Grueso No. 1	1063	SIDEGUA	5	101.60	0.98	5	2832	2011-12-13	2012-01-10	26	MR 550psi	14.93	18272	57.46	7654	3
Agregado Grueso No. 2	-	-	6	101.60	0.98	5	2832	2011-12-13	2012-01-10	26	MR 550psi	14.95	18242	52.73	7548	3
Agregado Grueso No. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aditivo (ml/kg cemento)	4	POLY-HEED 758	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS Agregado Fino No. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS Agregado Fino No. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS Agregado Grueso No. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS Agregado Grueso No. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS Agregado Grueso No. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Observación: Trabajabilidad: BUENA Apariencia: BUENA			 Analista Encargado				 Ing. William Olivero Jefe de Laboratorio									
Las resultados de ensayo se refieren únicamente a los muestros presentados. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga integramente y con la autorización del CETEC.																

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Figura 22. Ensayo de mezcla con cemento estructural 5,800 PSI

	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181		OT: 17877-2 FECHA: 09/12/2011 PÁGINA: 1 de 1 IMPRESIÓN: 11/07/2012
	Cliente: CETEC	Proveedor: SIDEQUIA	TIPO DE FALLA:
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6	Proyecto: CONCRETO CON ESCORIA Y CEMENTO 5800 ESTRUCTURAL 5000 psi		
Contacto: ING. WILLIAM OLIVERO	Analista(s): JUAN JOSE / CESAR GUTIERREZ		
Teléfono: 2286-4100	Fecha de ensayo: 2011-12-12		

INFORME DE DISEÑO DE MEZCLA

Formulación de Diseño de Mezcla		Resistencia a Compresión											
Material	Cantidad (kg/m ³)	Rel. A/C	Rel. Aire C/Ag	Rel. U (kg/m ³)	Fecha de Cierre	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Tip. de Concreto	Área (mm ²)	Área (mm ²)	Resistencia (MPa)	Resistencia (psi)	Tip. de Falla
Cemento	318	0.59	5.4	2597	12/12/2011	18/12/2011	7	MR 650psi	14.65	18322	33.37	4809	1
Agua	188	0.59	5.4	2597	12/12/2011	18/12/2011	7	MR 650psi	14.63	18242	33.60	4802	1
Agregado Fino No. 1	1023	0.59	5.4	2597	12/12/2011	18/12/2011	7	MR 650psi	14.59	18242	35.16	5059	3
Agregado Fino No. 2	-	0.59	5.4	2597	12/12/2011	09/01/2012	28	MR 650psi	14.71	18272	40.08	5810	3
Agregado Grueso No. 1	1087	0.59	5.4	2597	12/12/2011	09/01/2012	28	MR 650psi	14.7	18272	41.48	6016	3
Agregado Grueso No. 2	-	0.59	5.4	2597	12/12/2011	09/01/2012	28	MR 650psi	14.68	18272	40.54	5880	3
Agregado Grueso No. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aditivo (ml/kg cemento):	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS Agregado Fino No. 1	0.86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS Agregado Fino No. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS Agregado Grueso No. 1	1.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS Agregado Grueso No. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS Agregado Grueso No. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Observación:	Trabajabilidad: BUENA	Apariencia: BUENA	Analista Encargado
--------------	-----------------------	-------------------	--------------------

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga unagrama y con la aprobación de CETEC.

SGL-CT-CP-IE-01/ Rev. 0

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

3.2.11. Módulo estático de elasticidad y módulo de Poisson de concreto en compresión

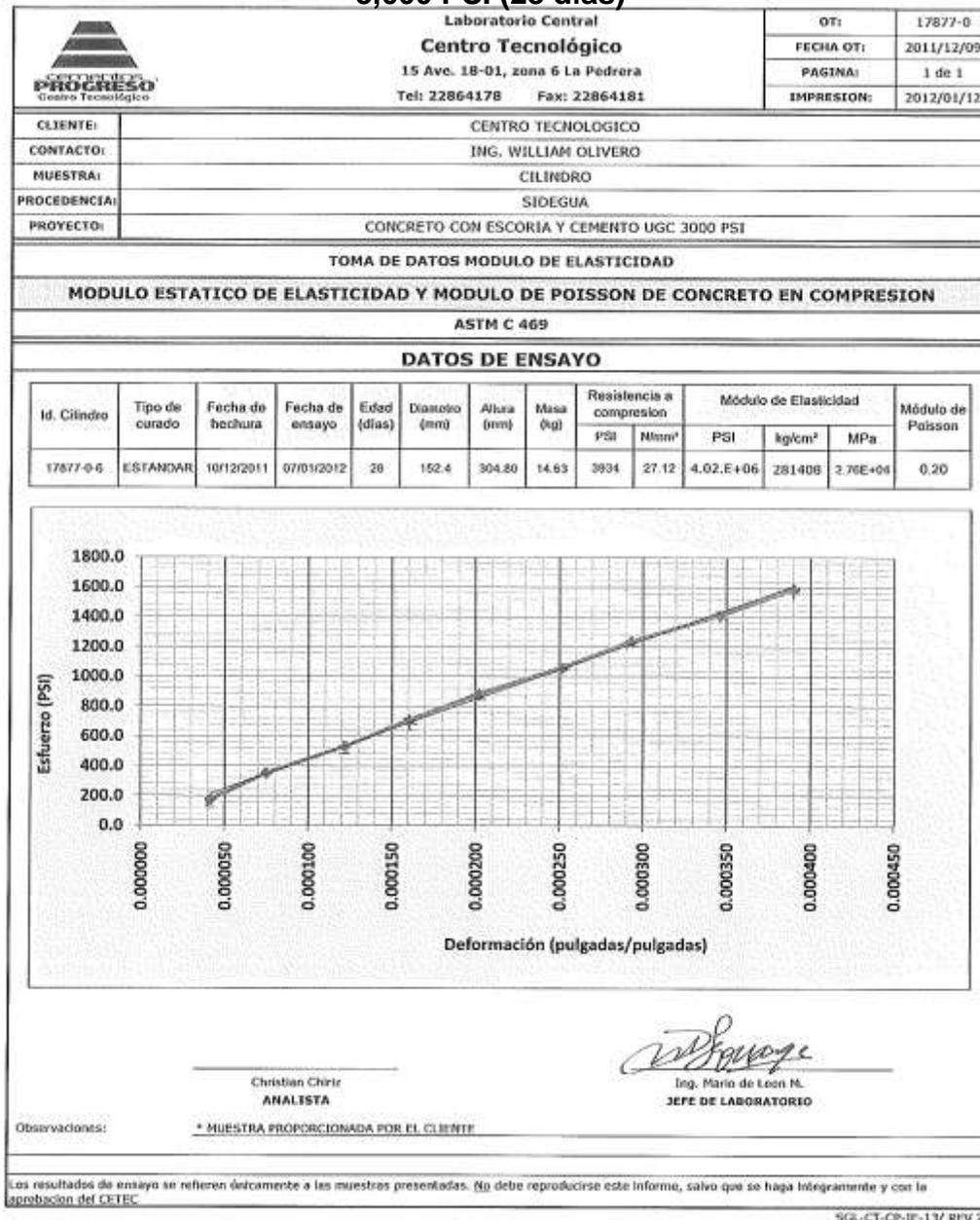
El concreto no es un material eminentemente elástico; esto se puede observar fácilmente si se somete un espécimen a esfuerzos de compresión crecientes hasta llevarlo a la falla; si para cada nivel de esfuerzo se registra la deformación unitaria del material, se podría dibujar la curva que relaciona estos parámetros, (curva esfuerzo-deformación). El concreto que ha endurecido por completo y se ha cargado en forma moderada, tiene una curva de esfuerzo de compresión-deformación que, en esencia, es una recta dentro del rango de los esfuerzos usuales de trabajo.

El módulo de elasticidad, definido por la ecuación $E = \text{esfuerzo unitario} / \text{deformación unitaria}$, es una medida de la rigidez, o sea la resistencia del concreto a la deformación. En general, los módulos de elasticidad se determinan a partir de pruebas a la compresión de cilindros de concreto. El módulo de Poisson del concreto representa la relación entre la deformación unitaria transversal y la deformación unitaria longitudinal o axial de algún elemento; este parámetro se determina normalmente de acuerdo con la norma ASTM C-469, durante una prueba de compresión de un cilindro estándar.

Los valores que se emplean en el cálculo del módulo de Poisson corresponden a la zona elástica sugerida para el módulo de elasticidad, por esta razón, generalmente se determinan ambos en una misma prueba. Los valores del módulo o relación de Poisson varían entre 0.15 y 0.20, pero la mayoría de los investigadores están de acuerdo en que este parámetro no es muy consistente y es posible observar valores fuera del intervalo mencionado. Cabe mencionar que tanto el módulo de elasticidad del concreto como el

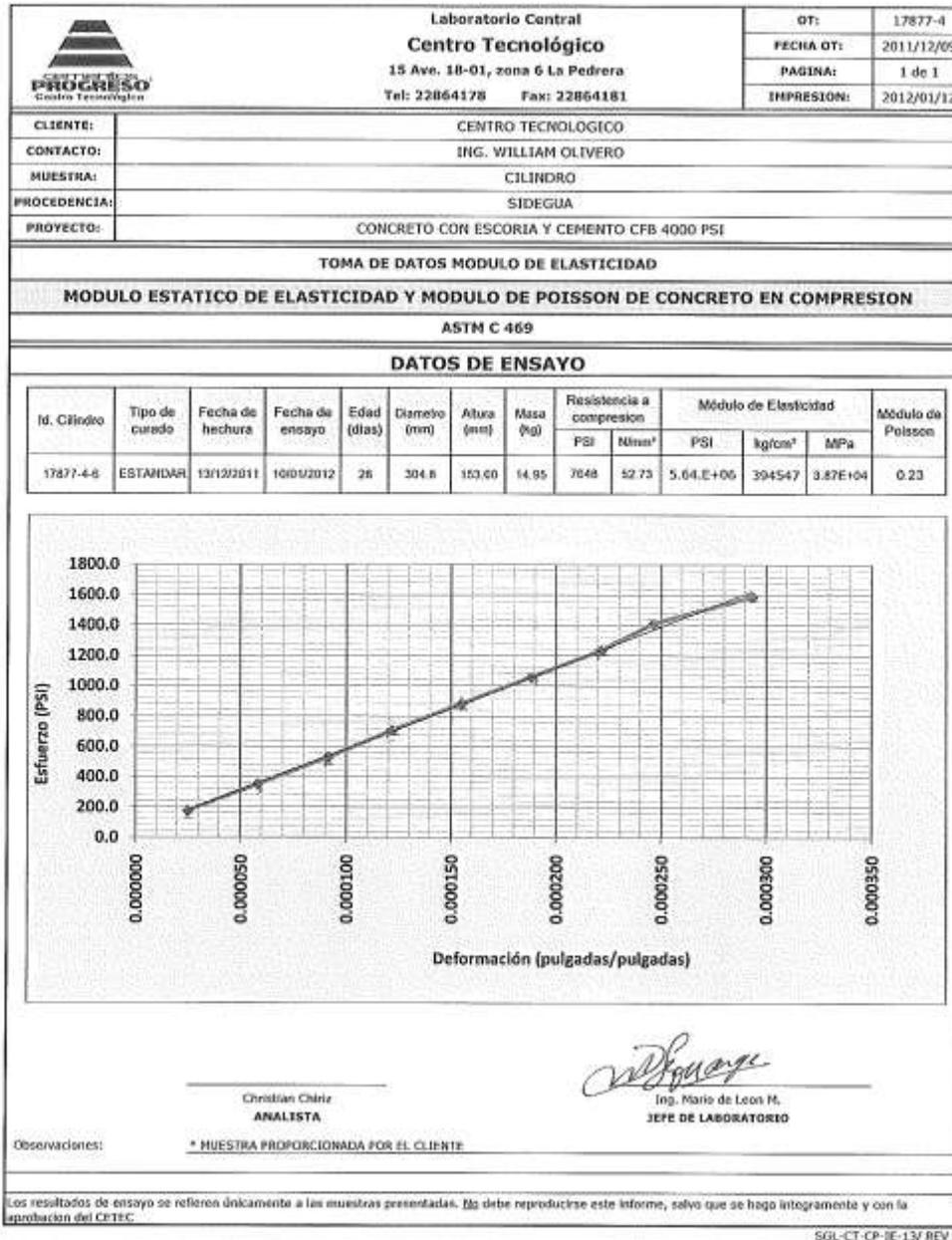
módulo de Poisson, son parámetros que dependen de un gran número de factores entre los que se cuentan los ingredientes del concreto.

Figura 23. **Ensayo de elasticidad norma ASTM C-469 con cemento UGC 3,000 PSI (28 días)**



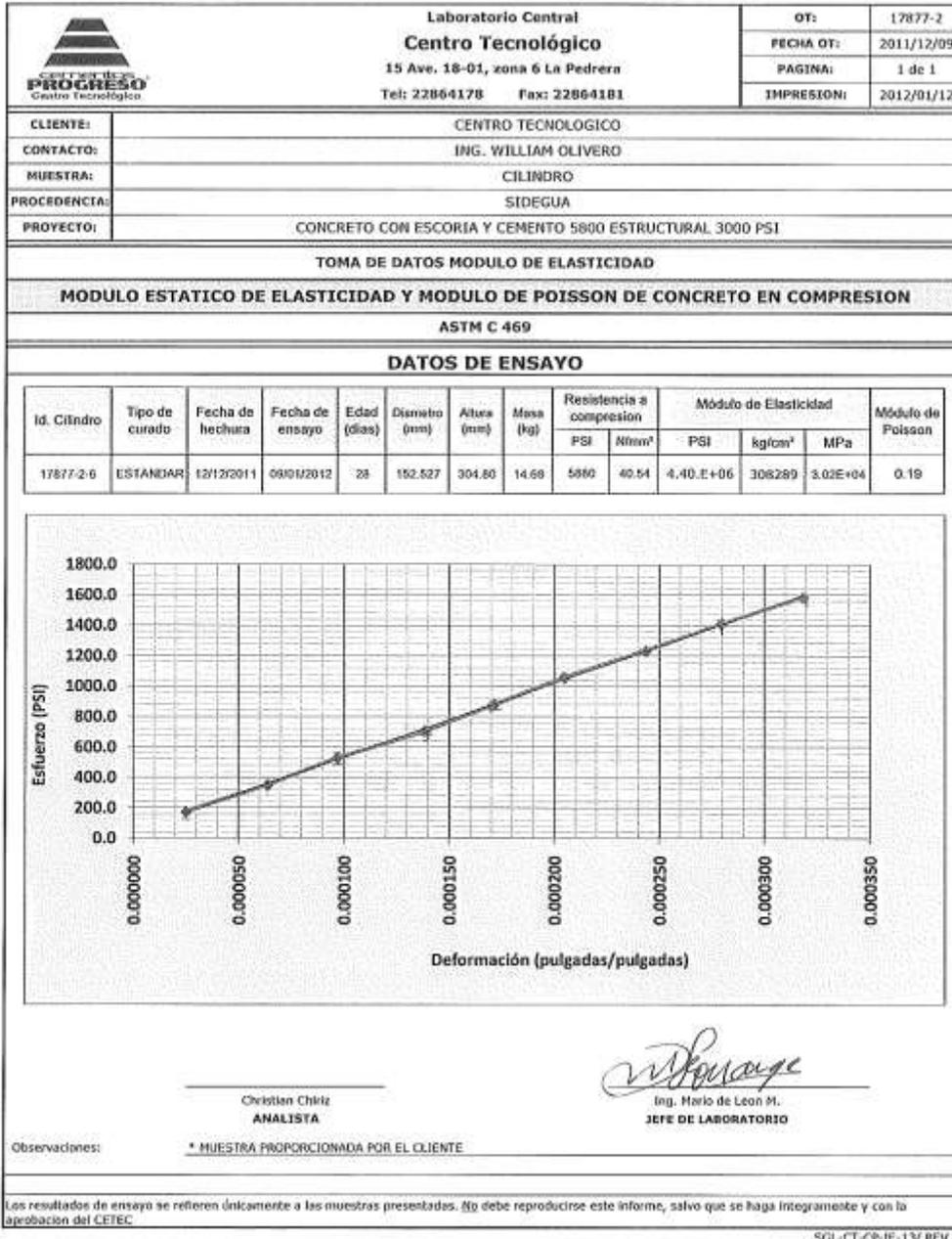
Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Figura 24. Ensayo de elasticidad norma ASTM C-469 con cemento CFB 4,000 PSI (28 días)



Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Figura 25. Ensayo de elasticidad norma ASTM C-469 con cemento estructural 5,000 PSI (28 días)



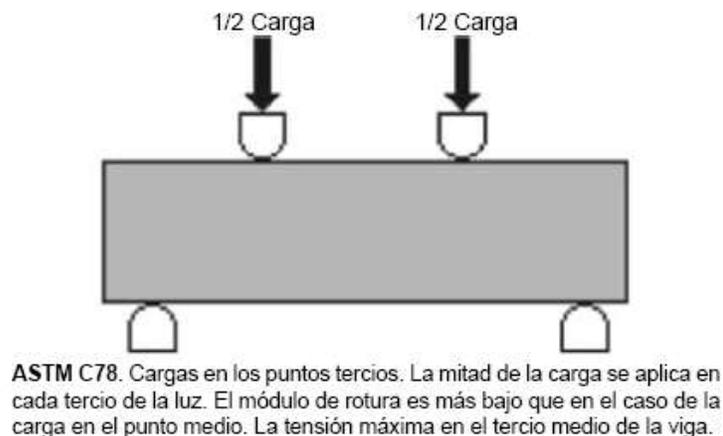
Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

3.2.12. Resistencia a flexión con dos puntos de carga ASTM C-78

Este método de ensayo cubre la determinación de la flexión resistencia del hormigón mediante el uso de una viga simple con tercer punto de carga. Los valores indicados en unidades pulgada-libra deben ser considerados como el estándar. Los ensayos de flexión de especímenes curados en húmedo se realizarán tan pronto como sea posible después de la remoción de una cámara húmeda.

La resistencia a la flexión del concreto se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. La resistencia a la flexión, también llamada módulo de ruptura.

Figura 26. Punto de carga norma ASTM C-78



Fuente: GUIMARÃES, G. 2º Congreso Ibérico sobre hormigón autocompactante. 1 y 2 de julio de 2010.

Figura 27. Ensayo de resistencia a flexión con diferentes tipos de cemento

	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181 cetec@cempro.com			OT	17877							
				FECHA	2011. 12.09							
				PÁGINA	1 DE 1							
				FECHA IMPRESIÓN	2012-01-10							
Cliente	CENTRO TECNOLÓGICO		Proyecto	MEZCLAS DE CONCRETO CON ESCORIA								
Dirección	ING. WILLIAM OLIVERO											
Contacto	15 AV. 18-01 INTERIOR FINCA LA PEDRERA ZONA 6		Muestra	Viga								
Teléfono	22864100		Analista	RICARDO RICOAS								
INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXION CON DOS PUNTOS DE CARGA (ASTM C-78)												
No. Lab.	Identificación Cliente	Medidas Promedio (mm)			Masa (kg)	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Longitud entre apoyos (mm)	Carga Máxima (N)	MODULO DE ROTURA	
		Largo	Ancho	Alto							(N/mm ²)	(kg/cm ²)
0	VIGAS CON UGC	535.00	169.09	152.36	32.475	2011-12-10	2011-12-17	7	457.2	28050	3.653	37.3
0	VIGAS CON UGC	535.00	151.00	152.76	32.720	2011-12-10	2012-01-07	28	457.2	41350	5.339	54.4
1	VIGAS CON CFB	535.00	148.75	153.07	32.550	2011-12-12	2011-12-19	7	457.2	39130	5.078	51.8
1	VIGAS CON CFB	535.00	151.08	153.49	33.220	2011-12-12	2012-01-09	28	457.2	46880	6.019	61.4
2	VIGAS CON 5800	535.00	148.67	153.02	32.360	2011-12-12	2011-12-19	7	457.2	27370	3.562	36.3
2	VIGAS CON 5800	534.00	147.68	153.21	32.430	2011-12-12	2012-01-09	28	457.2	45470	5.538	60.5
3	VIGAS CON UGC	535.00	151.00	154.00	32.870	2011-12-12	2011-12-19	7	457.2	30100	3.831	39.1
3	VIGAS CON UGC	536.00	148.18	152.98	32.400	2011-12-12	2012-01-09	28	457.2	39370	5.102	52.0
4	VIGAS CON CFB	535.00	154.00	155.00	33.190	2011-12-13	2011-12-20	7	457.2	54550	6.947	70.8
4	VIGAS CON CFB	536.00	151.10	153.52	33.050	2011-12-13	2012-01-10	28	457.2	57490	7.301	74.4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
 												
Analista Ing. Mario de León Jefe de Laboratorio												
OBSERVACIONES:												
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga integramente y con la aprobación del CETEC.												

SGL-CT-CP-IE-10/REV 01

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

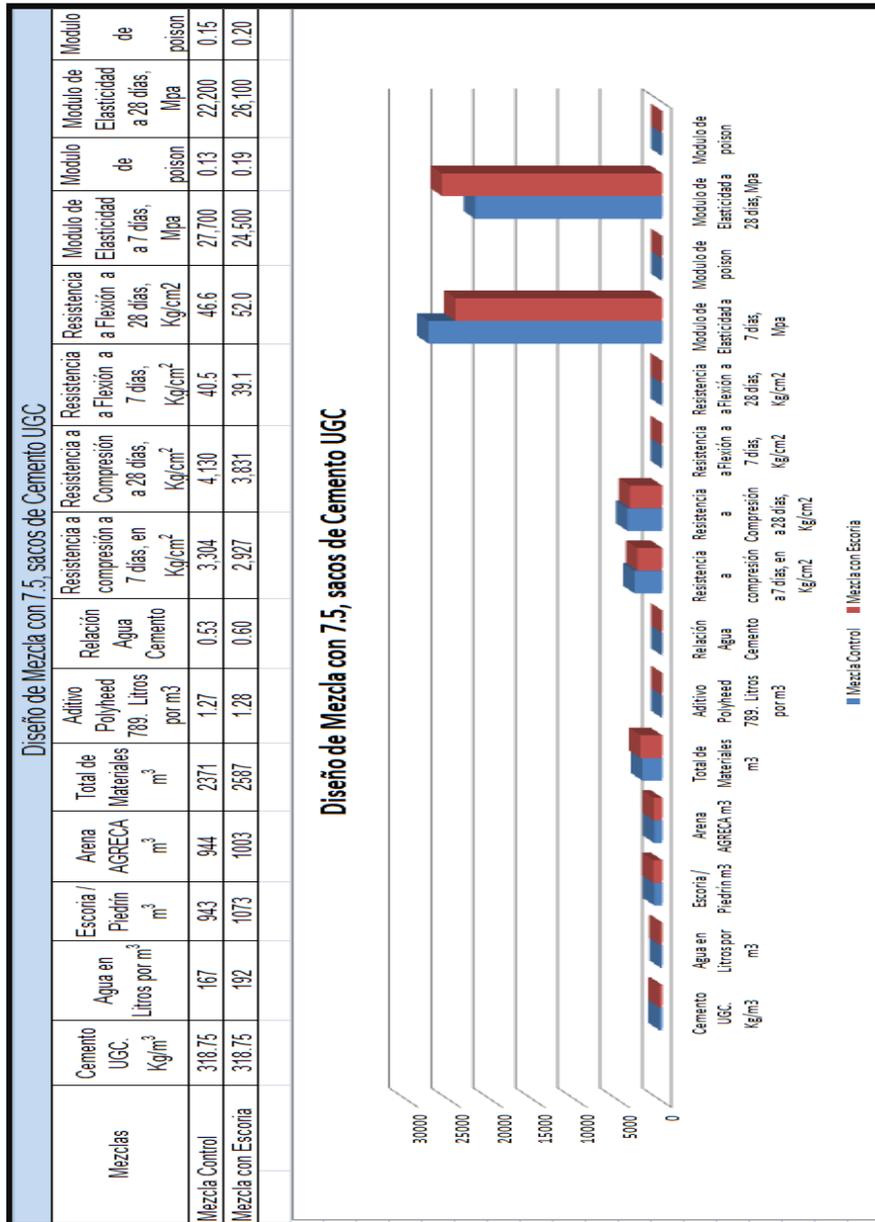
3.3. Discusión de resultados

En las siguientes graficas se podrá comprobar el comportamiento de la escoria siderúrgica según los diferentes tipos de cemento empleados, como UGC, CFB, ESTRUCTURAL; estos fueron comparados con una mezcla control; dicha mezcla fue elaborada con agregados de cantera, con los cuales se elaboran los concretos para pavimentos rígidos actualmente. Para tales mezclas se utilizaron 7.5 sacos de cemento y ensayos a 7 y 28 días. (Véase ensayos de mezcla control en el apéndice). Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Relación agua cemento
- Resistencia a compresión a los 7 y 28 días
- Resistencia a flexión a los 7 y 28 días
- Módulo de elasticidad a los 7 y 28 días
- Módulo de Poisson

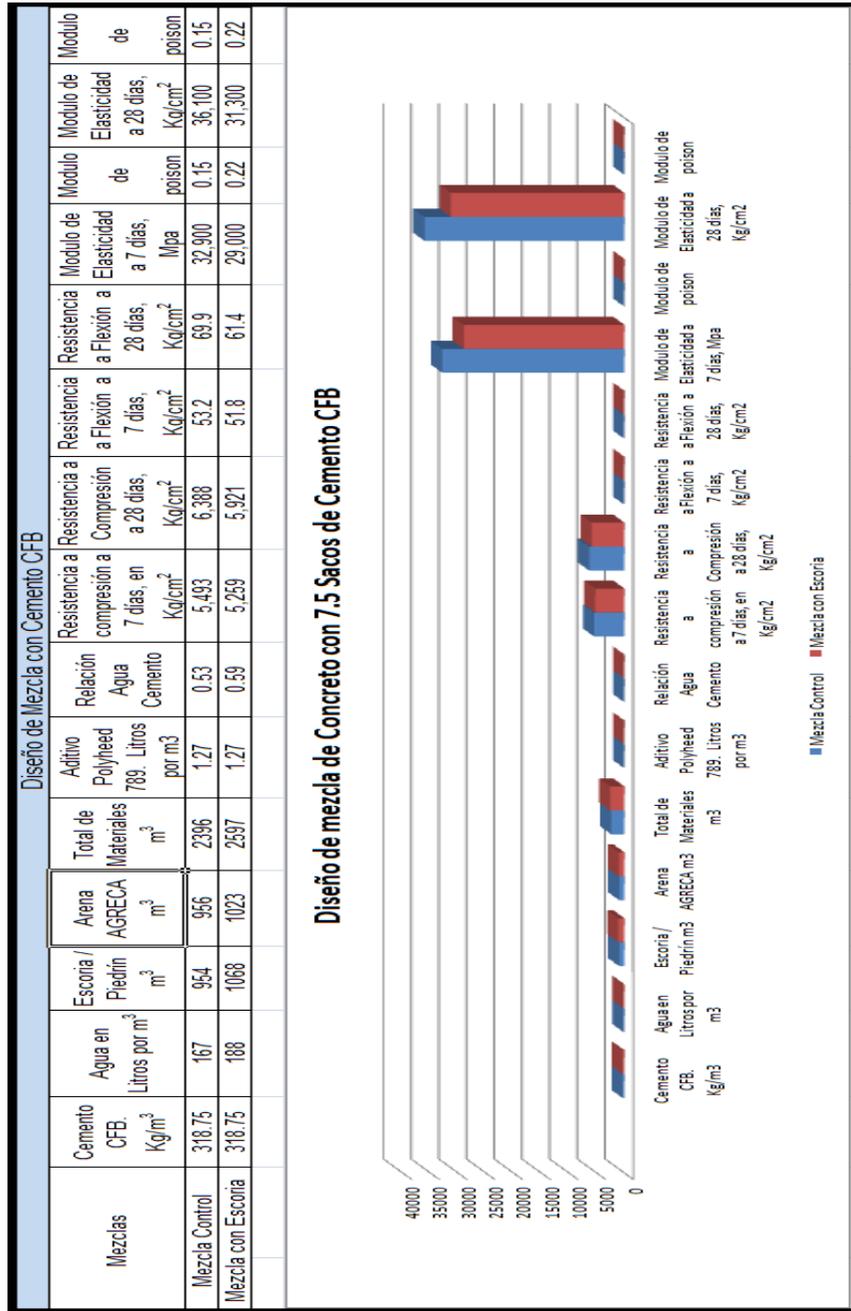
También se incluye en las gráficas comparativas de escoria siderúrgica y mezcla control, las cantidades de cemento, cantidades de litros de agua para ambas mezclas, cantidad de agregado fino, en el cual se utilizó arena de Agreca y el número de litros de un aditivo para este tipo de mezclas.

Figura 28. Resumen de resultados escoria siderúrgica con cemento UGC



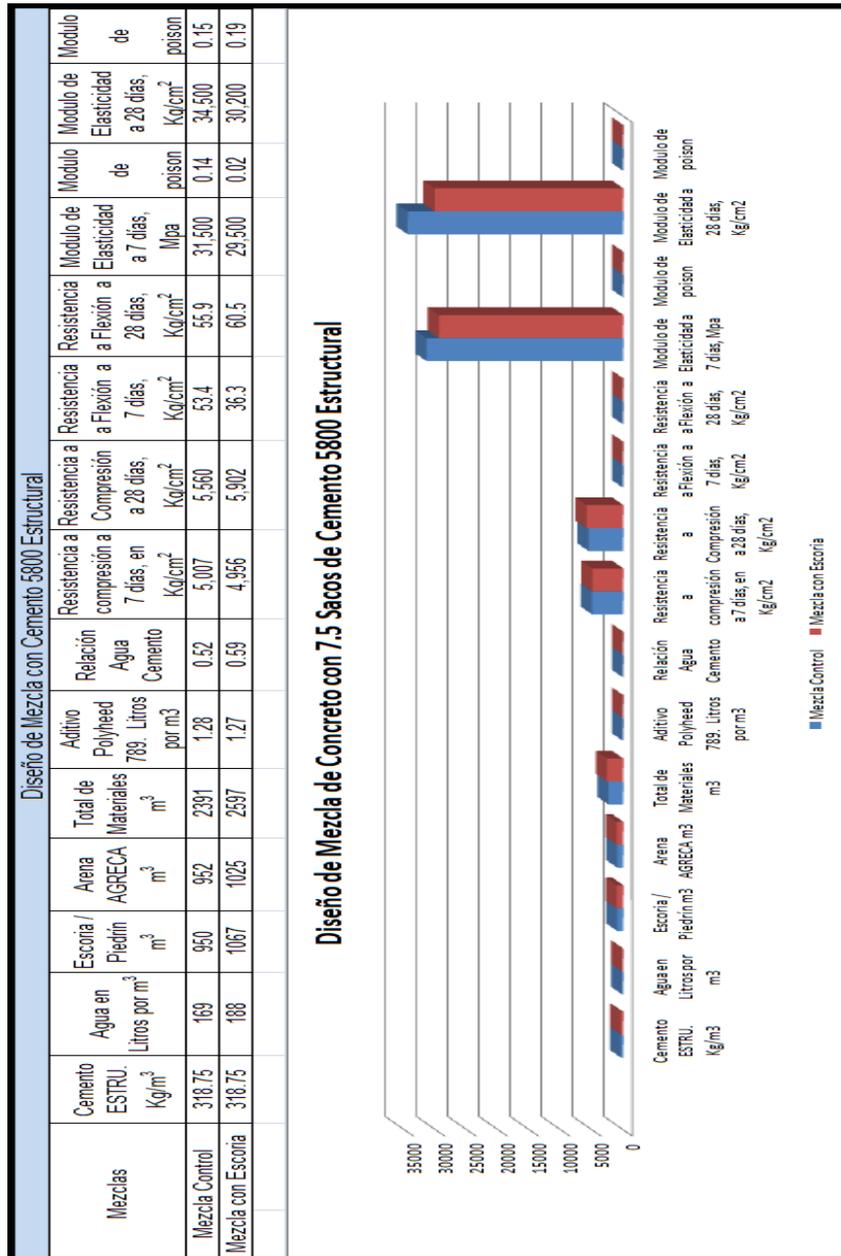
Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Figura 29. Resumen de resultados escoria siderúrgica con cemento CFB



Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Figura 30. Resumen de resultados escoria siderúrgica con cemento estructural

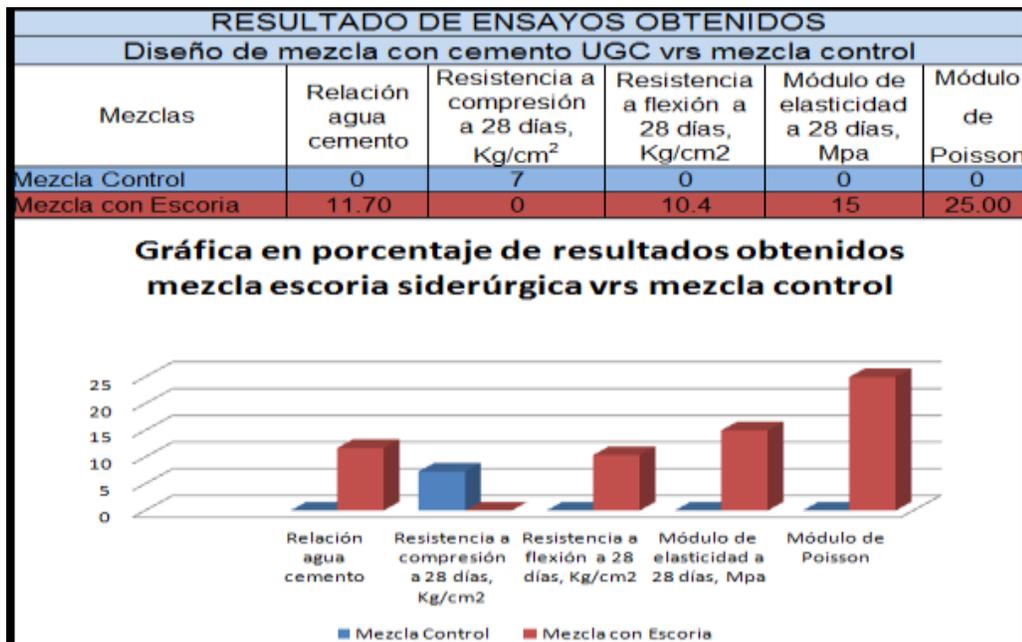


Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

3.3.1. Resultados obtenidos de diseño de mezcla con agregado grueso de escoria siderúrgica y cemento UGC versus mezcla control

- La resistencia a la compresión a los 28 días fue menor en un 7.23%, con escoria siderúrgica.
- La resistencia a flexión fue mayor a los 28 días en un 10.38%, con escoria siderúrgica.
- El módulo de elasticidad a los 28 días fue mayor en un 15%, con escoria siderúrgica.
- El módulo de Poisson a los 28 días fue mayor en un 25%, con escoria siderúrgica.

Figura 31. Resumen de resultados, escoria con cemento UGC vrs mezcla control

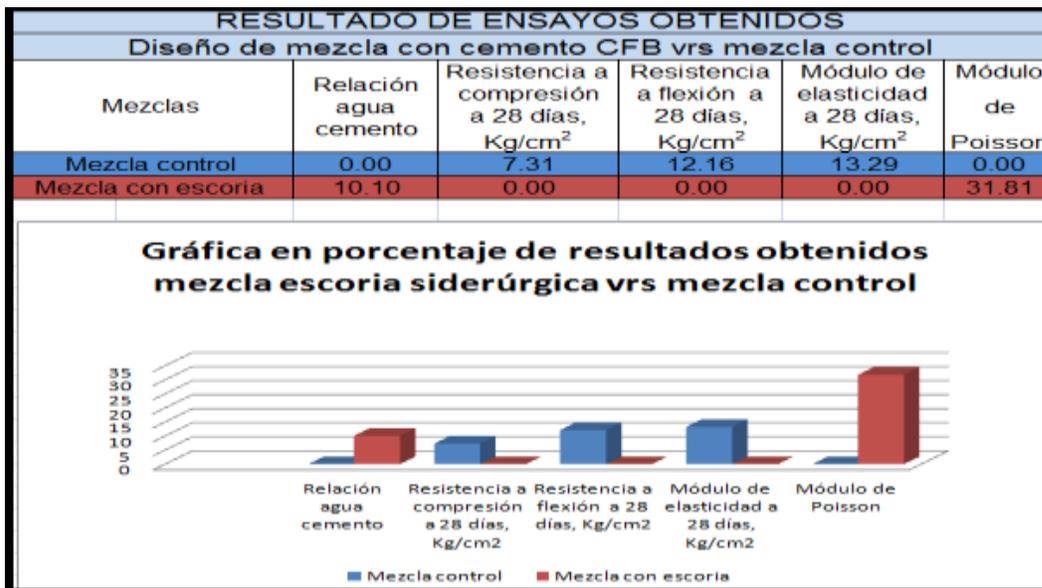


Fuente: elaboración propia.

3.3.2. Resultados obtenidos del diseño de mezcla con agregado grueso de escoria siderúrgica y cemento CFB versus mezcla control

- La resistencia a la compresión a los 28 días fue menor en un 7.31%, con escoria siderúrgica.
- La resistencia a flexión fue menor a los 28 días en un 12.16%, con escoria siderúrgica.
- El módulo de elasticidad a los 28 días fue menor en un 13.29%, con escoria siderúrgica.
- El módulo de Poisson a los 28 días fue mayor en un 31.81%, con escoria siderúrgica.

Figura 32. Resumen de resultados, escoria con cemento CFB vrs mezcla control

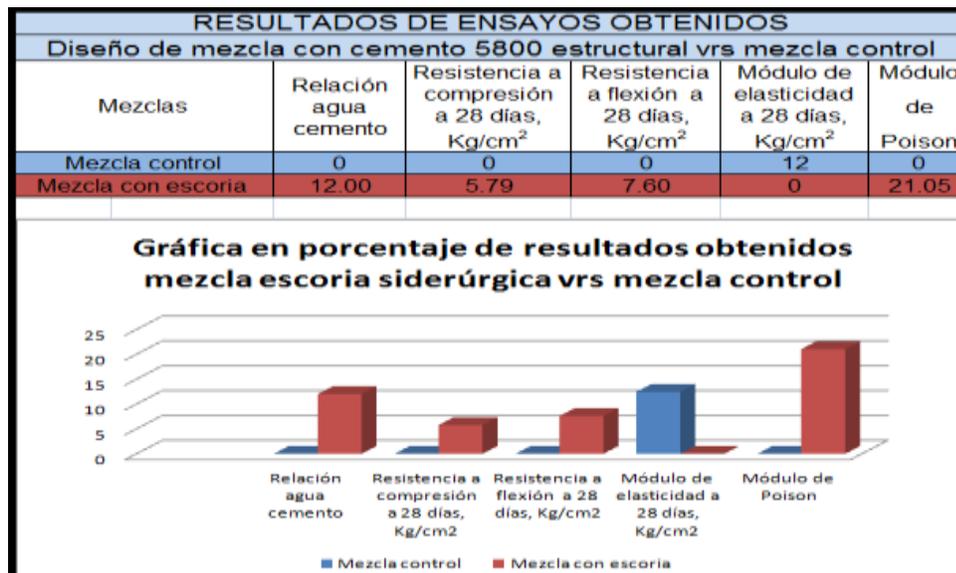


Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Resultados obtenidos diseño de mezcla con agregado grueso de escoria siderúrgica y cemento estructural versus mezcla control

- La resistencia a la compresión a los 28 días fue mayor en un 5.79%, con escoria siderúrgica.
- La resistencia a flexión fue mayor a los 28 días en un 7.60%, con escoria siderúrgica.
- El módulo de elasticidad a los 28 días fue menor en un 12.46%, con escoria siderúrgica.
- El módulo de poisson a los 28 días fue mayor en un 21.05%, con escoria siderúrgica.

Figura 33. Resumen de resultados, escoria con cemento estructural vrs mezcla control



Fuente: elaboración propia.

3.4. Diseño de pavimento rígido basado en AASHTO

Aunque los materiales de pavimento y métodos de construcción han avanzado significativamente en el último siglo, hasta la última década, el diseño del pavimento ha sido en gran parte empírico, basado en la experiencia regional. Incluso en los diseños de base empírica de los años 1980 y 1990, expresados en la AASHTO 1986, 1993 y 1998, las directrices han sido, para la mayoría de los casos, modificadas por las agencias estatales, con base en la experiencia regional. Por ejemplo, varias agencias todavía utilizan sus propias modificaciones de las directrices de diseño AASHTO 1972.

En la actualidad, aproximadamente la mitad de los organismos del Estado están utilizando la guía de 1993, aunque por lo general con alguna modificación. Esta dependencia de empírica hace que sea difícil la adopción de nuevos conceptos de diseño.

Un cambio adicional es el tipo de construcción del pavimento, que ha variado a lo largo de las últimas décadas a partir de la nueva construcción a la rehabilitación. Los materiales reciclados a menudo reemplazan a los nuevos materiales de construcción.

Durante los últimos diez años, un impulso importante ha sido desarrollar una explicación más científica de la interacción entre la estructura del pavimento, los materiales, el medio ambiente y la carga de las ruedas. La necesidad de un método de diseño más sofisticado se hace aún más evidente cuando se considera el número de variables, con más de veinte, sólo por las características geotécnicas; por ejemplo, unidad de peso, contenido de humedad, gradación, resistencia, rigidez, y la conductividad hidráulica, que influyen en el diseño de un sistema de pavimento moderno.

Afortunadamente, las herramientas disponibles para el diseño también han avanzado significativamente en las últimas décadas. En concreto, técnicas informatizadas de modelización numérica (es decir, los modelos mecanicistas) están ahora disponibles con capacidad para el análisis de estos temas complejos de interacción y, al mismo tiempo, permitir que los modelos sean modificados con base en la evidencia empírica.

Los modelos nuevos y más sofisticados de diseño para los pavimentos flexibles y rígidos dependen en gran medida de la caracterización precisa de los materiales del pavimento y las condiciones de apoyo para la entrada de diseño. Como resultado, existe una mayor dependencia de las entradas geotécnicas en los modelos de diseño. Exploración geotécnica y los programas de prueba son componentes esenciales en la fiabilidad de diseño del pavimento y también han avanzado significativamente en las últimas décadas. Mejores métodos para la exploración del subsuelo y la evaluación, se han desarrollado a lo largo del tiempo.

Las pruebas estándar de penetración (SPT), donde se dejó caer un peso especificado desde una altura específica sobre un simple tubo de pared gruesa para obtener un valor índice de la fuerza y la muestra perturbada de la subrasante, se desarrolló en la década de 1920. Una práctica típica es localizar los intervalos de muestreo a una distancia estándar a lo largo de la alineación calzada. Sin embargo, las condiciones de subrasante pueden variar considerablemente tanto longitudinal como transversalmente a la alineación. Este enfoque evalúa muestras de menos de una mil millonésima partes de la tierra a lo largo de la alineación vial; a menudo faltan características importantes del subsuelo y/o variaciones.

Además, el valor SPT en sí mismo tiene un coeficiente de variación de hasta 100%. Con base en estas consideraciones, hay que cuestionar el uso de este método como el único para la evaluación del subsuelo.

Los métodos empíricos de diseño del pasado, a menudo se basaron en pruebas como el índice CBR para caracterizar el conjunto de soporte y los materiales de subrasante. Así como los métodos de diseño han modificado también las condiciones locales, las agencias han modificado los métodos de ensayo en la medida en que actualmente hay más de diez métodos de índice utilizadas en los Estados Unidos para caracterizar estos materiales.

Las pruebas incluyen el IBR (Illinois), la LBR (Florida), el valor R de Washington-, el valor de R-California, Minnesota, el valor-R, y el triaxial de Texas, para nombrar unos pocos. Teniendo en cuenta que tanto el diseño como los valores de entrada puede basarse en el conocimiento local, no es de extrañar que la comparación de secciones de prueba construidas por los diferentes organismos sea a menudo difícil.

A lo largo de la historia del diseño del pavimento, los problemas se han encontrado especiales en relación con el apoyo del pavimento. Estos incluyen suelos expansivos, las heladas, los materiales sensibles, caliche, la topografía, suelos de bombeo de aguas subterráneas y las condiciones muy fluctuantes.

La realización de un diseño de pavimento éxito depende de diversas variables. La práctica de diseño del pavimento se basa en principios de ingeniería y de la experiencia. Los pavimentos fueron construidos mucho antes que las computadoras, calculadoras, e incluso reglas de cálculo.

Antes de los tiempos modernos, los pavimentos fueron diseñados por ensayo y error y los métodos de sentido común, en lugar de los métodos más complicados que se utilizan actualmente. Aún más modernos métodos requieren una cierta cantidad de experiencia y sentido común.

Los métodos utilizados hoy en día se basan en experimentos con plena escala en el servicio. La información empírica derivada de estas pruebas en carretera es la base más común para los actuales métodos de diseño del pavimento. Más recientemente, con el poder siempre creciente de los ordenadores personales, el pavimento se ha diseñado más matemáticamente con base en métodos de diseño tales como el análisis de elementos finitos.

Estos métodos requieren una amplia formación para el uso y no se desarrollan para él sin experiencia. Por lo anteriormente escrito se realizará un ensayo de diseño de espesor de pavimento, basado en un programa de computadora, con el fin de analizar el comportamiento de una mezcla con escoria versus la mezcla control propuesta para pavimentos rígidos. Dicho diseño se realizará con una mezcla de cemento estructural ya que este fue el que dio los mejores valores de análisis. Así también se utilizarán valores arbitrarios de esales, espesor de base, niveles de servicio, etc. para dicho diseño de espesor únicamente se utilizarán los valores de módulo de ruptura, módulo de elasticidad y módulo de Poisson, en ambos casos, según ensayos dados con anterioridad.

Según se puede observar en la figura 34, la cual representa el diseño de espesor de pavimento de la mezcla control por medio del método computarizado, dio un espesor de 7.98 pulgadas que es equivalente a 17.56 centímetros.

En la figura 35 la cual representa el diseño de espesor de pavimento de la mezcla con escoria siderúrgica por medio del método computarizado, dio un espesor de 7.03 pulgadas, que es equivalente a 15.46 centímetros. Esto indica que el espesor de pavimento con agregado de escoria siderúrgica da un valor menor de 2.09 centímetros que el espesor de pavimento con agregado de la mezcla control.

Figura 34. Diseño de espesor de pavimento rígido con nuestra mezcla control

Rigid Pavement Design - Based on AASHTO Supplemental Guide

Reference: LTPP DATA ANALYSIS - Phase I: Validation of Guidelines for k-Value Selection and Concrete Pavement Performance Prediction

I. General

Agency: EDWINA QLEND
 Street Address: GUATEMALA
 City: ANTIGUA G.
 State: SACATEPEQUEZ

Project Number: 1 ID: Clear

Description: TESIS ESCORIA SIDERURGICA
 Location: GUATEMALA

II. Design

Serviceability
 Initial Serviceability, P_i : 4.5
 Terminal Serviceability, P_t : 2.5

RCC Properties
 28-day Mean Modulus of Rupture, f_r : 790 psi
 Elastic Modulus of RCC, E_c : 4,030,000 psi
 Poisson Ratio for Concrete, μ : 0.15

Base Properties
 Elastic Modulus of Base, E_b : 150,000 psi
 Design Thickness of Base, H_b : 5.9 in
 Sub-Base Friction Factor, f : 24.0

Reliability and Standard Deviation
 Reliability Level, R : 95.0 %
 Overall Standard Deviation, S_o : 0.72

Climatic Properties
 Mean Annual Wind Speed, $WIND$: 4.1 mph
 Mean Annual Air Temperature, $TEMP$: 68.9 °F
 Mean Annual Precipitation, $PRECIP$: 57.1 in

Subgrade I-Value
 I-Value: 75 (psi/in)

Design ESALs
 Design ESALs: 10.4 (million)

Pavement Type, Joint Spacing (ft)

JCP
 JRP
 GCP

Joint Spacing: 12.5 ft

Effective Joint Spacing: 165.6 in

Edge Support

Conventional (2-ft wide traffic lane)
 Conventional (2-ft wide traffic lane) - Red RCC
 2-ft widened slab w/ conventional (2-ft traffic lane)

Edge Support Factor: 0.92

Sensitivity Analysis

Slab Thickness used for Sensitivity Analysis: 7.98 in

Modulus of Rupture
 Elastic Modulus (Base)
 I-Value
 Reliability

Elastic Modulus (RCC)
 Base Thickness
 Joint Spacing
 Standard Deviation

Calculated Slab Thickness for Above Inputs: **7.98 in**

ESPEJOR DE PAVIMENTO

Fuente: elaboracion propia. Programa de diseño de pavimento basado en la AASHTO.

Figura 35. Diseño de espesor de pavimento rígido con agregado de escoria siderúrgica y cemento estructural

Rigid Pavement Design - Based on AASHTO Supplemental Guide

Reference: LTPP DATA ANALYSIS - Phase I: Validation of Guidelines for k-Value Selection and Concrete Pavement Performance Prediction

I. General

Agency:
 Street Address:
 City:
 State:

Project Number: ID: Clear

Description:
 Location:

II. Design

Serviceability

Initial Serviceability, P_i :
 Terminal Serviceability, P_t :

ECC Properties

28-day Mean Modulus of Rupture, R : psi
 Elastic Modulus of ECC, E_c : psi
 Poisson's Ratio for Concrete, μ_c :

Base Properties

Elastic Modulus of Base, E_b : psi
 Design Thickness of Base, H_b : in
 Sub-Base Friction Factor, F :

Reliability and Standard Deviation

Reliability Level (R_L): %
 Overall Standard Deviation, S_o :

Climatic Properties

Mean Annual Wind Speed, $WIND$: mph
 Mean Annual Air Temperature, $TEMP$: °F
 Mean Annual Precipitation, P_RAIN : in

Subgrade k-Value

pci/in

Design ESALs

million

Pavement Type, Joint Spacing (L)

JCP
 JRP
 JCCP

Joint Spacing: ft

JPCP

Effective Joint Spacing: 165.6 in

Edge Support

Conventional (2-ft wide traffic lane)
 Conventional (2-ft wide traffic lane + Red RCC)
 2-ft widened slab w/conventional (2-ft traffic lane)

Edge Support Factor: 0.92

Sensitivity Analysis

Slab Thickness used for Sensitivity Analysis: in

Modulus of Rupture
 Elastic Modulus (ECC)
 Elastic Modulus (Base)
 Base Thickness
 k-Value
 Joint Spacing
 Reliability
 Standard Deviation

Calculated Slab Thickness for Above Input: in

ESPESOR DE PAVIMENTO

Fuente: elaboracion propia. Programa de diseño de pavimento basado en la AASHTO.

4. BENEFICIOS AMBIENTALES DEL RECICLAJE DE LA ESCORIA SIDERÚRGICA

Una buena gestión de los residuos sólidos debe favorecer el reciclaje y la utilización de materiales recuperados como fuente de energía o materias primas, a fin de contribuir a la preservación y uso racional de los recursos naturales.

4.1. Solución ambiental del correcto uso de las escorias

Las escorias son un desecho intrínseco de la etapa de fundido de los metales, por lo que su generación no se puede evitar. La cantidad generada depende de diversos factores: la calidad de la materia prima, el contenido en óxidos de metal o la basicidad de la escoria, el volumen de alimentación de oxígeno, la eficiencia del horno, entre otros. En términos de porcentaje, la proporción de escoria generada respecto de la materia prima utilizada no es constante, situándose en promedio en un 10% para las fundiciones no ferrosas, y un 12% para las fundiciones ferrosas. El principal problema asociado a la generación de escorias es el costo económico asociado al manejo y disposición final de estos residuos.

Por otra parte, las escorias pueden presentar características que las clasifiquen como residuos peligrosos, esto, si los materiales cargados contienen cantidades importantes de metales pesados y tóxicos, como plomo, cadmio o cromo, y si estos son potencialmente lixiviables desde la escoria.

En general, las escorias de origen ferroso son no peligrosas y las procedentes de fundiciones no ferrosas se clasifican con mayor frecuencia como peligrosas. En este caso el costo de eliminación de los residuos es superior.

Finalmente, la disposición final de escorias implica un desaprovechamiento de materia prima, tanto de metales como de potenciales subproductos, que podría minimizarse mediante la recuperación de metales o su reciclaje en otros sectores.

4.2. Teoría de las tres erres

La teoría de las tres erres consta de tres conceptos de fácil entendimiento y ejecución, estos son:

- Reducir: reducir o rechazar los productos con más empaques del que realmente necesitan; preferir empaques y productos elaborados con materiales reciclados o reciclables; a menor cantidad de materiales consumidos, menor cantidad de residuos a disponer.
- Reutilizar: es dar un uso diferente a un bien al que inicialmente tenía; por ejemplo, envases de licor para envasar blanqueador o combustible; utilizar el papel por las dos caras antes de reciclarlo.
- Reciclar: es el proceso mediante el cual se transforman los residuos sólidos recuperados en materia prima para la elaboración de nuevos productos. El reciclaje de los desechos es un proceso que debe tener en cuenta: separar la basura en desechos orgánicos e inorgánicos, clasificar

los componentes inorgánicos en papel, cartón, plástico, vidrio y metales, y procesar cada material de desecho con un tratamiento adecuado.

4.3. Materiales reciclables para la elaboración de la escoria siderúrgica

Entre los metales reciclables para la elaboración de la escoria siderúrgica están los metales ferrosos y los no ferrosos.

4.3.1. Metales ferrosos

Se denominan metales ferrosos o férricos a aquellos que contienen hierro como elemento base; pueden llevar además pequeñas proporciones de otros. A pesar de todos los inconvenientes que presentan estos materiales (hierro, acero y fundiciones) por ser muy pesados, oxidarse con facilidad y ser difíciles de trabajar, son los más usados en la actualidad. Las aplicaciones más significativas a las que se destinan los metales ferrosos son la construcción de puentes, estructuras de edificios, barcos, trenes, coches y utensilios domésticos (ollas, grifos, cucharas, etc.).

A partir de una etapa de clasificación y preparación mecánica, se procede a triturar la escoria de mayor tamaño. Luego, se separa el material ferroso del no ferroso mediante un electroimán, y el material residual permite elaborar un árido que puede ser utilizado en empresas de la construcción como aditivo o materia prima. En promedio, la escoria ferrosa puede contener desde un 5 a 20% de metal residual, por lo que actualmente existen empresas que se dedican a recuperar este material. Entre los metales ferrosos están:

- Chatarra pesada: equipos, estructuras, planchas, rieles
- Chatarra de acero: tubos, ventanas y puertas

4.3.2. Metales no ferrosos

Los metales no ferrosos incluyen a todos los metales excepto al hierro. Su utilización no es tan masiva como los productos férreos (acero, hierro, fundición), pero tienen una gran importancia en la fabricación de gran cantidad de productos.

Los metales no ferrosos y sus aleaciones, son en general resistentes a la corrosión atmosférica y la oxidación. Pero no es esta la única buena cualidad, que los hace recomendables para muchas aplicaciones, sino también la facilidad con que se moldean y mecanizan, la elevada resistencia mecánica en relación con su peso de algunas aleaciones, la gran conductividad térmica y eléctrica, y también su bella terminación desde el punto de vista decorativo.

Las empresas del sector cuentan con procesos físicoquímicos a través de los cuales pueden recuperar diferentes tipos de metales. También se utilizan hornos eléctricos para escorias ricas en cobre. En el caso de las escorias no ferrosas, existe un conjunto de empresas que comercializan este tipo de residuo por el alto valor de los metales contenidos (cobre, aluminio, zinc).

Se utilizan en la construcción, perfiles para cerramientos, chapas acanaladas, bastidores, revestimientos, puertas, etc. Forma de suministro comercial: barras redondas, cuadradas y hexagonales, varillas, chapas, láminas, tubos, perfiles y alambre.

4.4. Beneficios del reciclaje de la escoria

En la industria de fundición, los procesos más contaminantes son los de fusión del metal o de las aleaciones, de allí que sea importante hacer el mayor énfasis en mantener un estricto control del proceso, lo cual se une al factor económico. Los demás procesos de la fundición donde no hay fusión de metales generan contaminación por partículas, pero no se considera que constituyan formas severas de contaminación del aire en términos de sus efectos sobre el vecindario.

4.4.1. Beneficios ambientales

- Explotación de los recursos naturales: consiste en el proceso de extracción del agregado, dependiendo del tipo de depósito; para el caso de agregados, generalmente se realiza a cielo abierto.
- Depósitos aluviales: el sistema de extracción se efectúa a través de maquinaria especializada para excavar el suelo.
- Depósito de roca dura o cantera: la extracción y arranque de la roca se realiza a través de procesos de perforación y voladura. Dependiendo de las características físicas de la materia prima y del uso final del producto, se realiza el beneficio del material (trituración) a través de un proceso húmedo o seco. Con la reutilización de la escoria siderúrgica se pretende disminuir la explotación masiva de los agregados para la realización de carreteras.
- Disminución de la cantidad de residuos que generen un impacto ambiental negativo al no descomponerse fácilmente.

Se entiende por impacto ambiental el efecto que produce una determinada acción sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. Las acciones humanas, son los principales motivos que han producido que un bien o recurso natural sufra cambios negativos.

Ahora los recursos naturales se encuentran amenazados en todos los sentidos, el agua, el suelo, el aire son recursos que están siendo afectados por medidas o acciones sin previos estudios que permitan mitigar estos impactos; la minimización del impacto ambiental es un factor preponderante en cualquier estudio que se quiera hacer en un proyecto o acción a ejecutar, con esto se logrará que los efectos secundarios pueden ser positivos y menos negativos. Con la reutilización de la escoria siderúrgica se pretende la disminución de los campos que se utilizan para el almacenamiento del mismo, ya que dichos campos se pueden utilizar para la siembra de cualquier vegetal de consumo diario.

4.4.2. Beneficios sociales

- Alternativa de generación de empleo: la industria siderúrgica en Guatemala ha desempeñado un papel clave en la actividad económica, el acero, producto base de la siderúrgica, resulta indispensable para obtener un sinnúmero de productos de consumo duradero, como por ejemplo; alambre, hierro, clavos, vigas de metal etc. Durante este lapso de tiempo se han generado muchas fuentes de empleo para la realización de los distintos productos, pero no se le ha dado un enfoque primordial en lo que respecta a la escoria siderúrgica como una fuente de empleo. Con la inclusión de investigaciones de dicho material se podría tener más fuentes de trabajo, ya que como se analizó anteriormente, dicho material es reutilizable y de uso primordial en la elaboración de mezclas de concreto.

- Crea una cultura social: este reaprovechamiento de sobras del proceso de la reutilización de la chatarra puede ocurrir tanto interna como externamente, por medio de terceros o refusión propia. En cualquier caso, representa una gran economía de energía y materia prima, reflejándose en un aumento de la productividad y reducción de la chatarra industrial. El reciclado de productos con vida útil agotada, por su parte, depende del tiempo gastado entre su nacimiento, consumo y descarte. Esto se llama ciclo de vida del producto, que puede ser de 45 días, como en el caso de la lata, hasta más de 40 años, como en el caso del aluminio, por la transmisión de energía eléctrica. En cualquier caso, la chatarra puede ser reciclada infinitas veces. Cuanto más corto fuese el ciclo de vida de un producto, más rápido será su retorno al reciclado.

4.4.3. Beneficios económicos

El material reciclable se puede comercializar; con esto las empresas obtienen materia prima de excelente calidad a menor costo y además, de un alto ahorro de energía. La escoria de hornos eléctricos es un producto de bajo precio, por lo que las empresas encargadas de la elaboración de la misma, puede agenciarse de recursos económicos adicionales a los que ya tienen, de la producción del acero.

4.5. Técnicas disponibles para las mejoras del medio ambiente

Es un conjunto de técnicas aplicadas a procesos de diversos sectores productivos que se demuestran más eficaces para alcanzar un elevado nivel de protección medio ambiental, siendo a su vez aplicables en condiciones económicas y técnicas viables.

Entre las técnicas disponibles, debe buscarse que tengan las siguientes características:

- Deben ser las más eficaces, para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto y de la salud de las personas.
- La tecnología que va a utilizarse tiene que estar acorde con la forma en que la instalación esté diseñada, construida, mantenida, explotada o paralizada.
- Las técnicas deben estar desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del correspondiente sector productivo, en condiciones económicas y técnicamente viables, tomando en consideración los costos y los beneficios, siempre que el titular pueda tener acceso a ellas en condiciones razonables.

La calidad de la chatarra como materia prima es fundamental para la fabricación del acero, por tanto, mientras menos impurezas contenga (tierra, plásticos, etc.), menor será la cantidad de escoria generada; esto, teniendo en cuenta que las impurezas se oxidan para ser eliminadas con la escoria. Además, debido al deterioro que está sufriendo la calidad de la chatarra por el fuerte incremento de su precio, resulta casi imprescindible proceder a su limpieza antes de su introducción en el horno, asegurando de esta forma el control de la materia prima para la fundición.

De la misma manera, la presencia de contaminantes y óxidos en la carga puede provocar que se consuma parte de la energía de fusión, disminuyendo la eficiencia del proceso.

Por lo tanto, la selección de la chatarra, antes de proceder a su acopio, permitirá eliminar impurezas (tierra, plásticos, gomas, etc.) que irían directamente a la escoria y que se estima supone el 1% de la chatarra adquirida. Para proceder a esta selección se suelen utilizar maquinarias que permiten separar las impurezas que contaminan la chatarra. Entre estas maquinarias se destacan las mesas vibrantes y los tambores magnéticos giratorios.

4.6. Qué soluciona el correcto manejo de las escorias

Las escorias son un desecho intrínseco de la etapa de fundido de los metales, por lo que su generación no se puede evitar. La cantidad generada depende de diversos factores: la calidad de la materia prima, el contenido en óxidos de metal o la basicidad de la escoria, el volumen de alimentación de oxígeno, la eficiencia del horno, entre otros. En términos de porcentaje, la proporción de escoria generada respecto de la materia prima utilizada no es constante, situándose en promedio en un 10% para las fundiciones no ferrosas, y un 12% para las fundiciones ferrosas.

El principal problema relacionado con la generación de escorias es el costo económico asociado al manejo y disposición final de estos residuos. Por otra parte, las escorias pueden presentar características que las clasifiquen como residuos peligrosos; esto, si los materiales cargados contienen cantidades importantes de metales pesados y tóxicos, como plomo, cadmio o cromo, y si estos son potencialmente lixiviables desde la escoria. En general, las escorias de origen ferroso son no peligrosas y las procedentes de fundiciones no ferrosas se clasifican con mayor frecuencia como peligrosas. En este caso el costo de eliminación de los residuos es superior.

Finalmente, la disposición final de escorias implica un desaprovechamiento de materia prima, tanto de metales como de potenciales subproductos, que podría minimizarse mediante la recuperación de metales o su reciclaje en otros sectores.

4.7. Beneficios ambientales de la reutilización de la escoria

- Reducción de la generación de residuos sólidos y potencialmente peligrosos.
- Reducción del consumo de materias primas en otros sectores.
- Reducción de las emisiones de MP (material primario, contaminante criterio, con norma primaria de calidad de aire) y COV (compuestos orgánicos).
- Reducción de los costos de disposición de residuos, por la menor cantidad de escorias a transportar y eliminar.
- Aprovechamiento de materias primas, mediante la recuperación del metal y su posterior uso en la fundición.
- Aprovechamiento del metal recuperado (chatarra) como materia prima.
- Reducción de la cantidad de residuos sólidos a eliminar.

CONCLUSIONES

1. La escoria siderúrgica de horno eléctrico como agregado grueso, es útil en la elaboración de cualquier tipo de mezcla de concreto, ya que alcanzó resistencias a compresión, según normas establecidas por la ASTM.
2. La escoria siderúrgica de horno de arco eléctrico como agregado grueso, llena todos los requisitos estructurales para ser tomado en cuenta en la elaboración de pavimentos rígidos, ya que dio valores menores respecto de espesores de pavimento.
3. Debido a las características de la escoria siderúrgica, esta resulta ser más pesada que la mayoría de agregados y posee gran resistencia a movimientos laterales siendo muy útil en curvas y subidas cuando es utilizada en pavimentos.
4. La utilización de la escoria siderúrgica como agregado grueso puede solucionar en gran parte al problema de disposición de los residuos industriales y escombros de construcción, lo cual causa un permanente impacto ambiental, ya que es un material reutilizable de un desecho.
5. Para el caso particular del cemento CFB, el agregado de escoria siderúrgica dio resultados muy por debajo de lo esperado, por lo tanto para este tipo de mezcla con cemento, la escoria siderúrgica no funciona.
6. Según ensayo de abrasión la escoria siderúrgica tiene una graduación tipo B y un porcentaje de desgaste del 26.7% (máquina de los Ángeles).

7. La mezcla de concreto con cemento UGC y ESTRUCTURAL con escoria siderúrgica, dieron resistencia a compresiones mayores de lo esperado.
8. La mezcla de concreto con cemento ESTRUCTURAL fue la que dio valores más altos en lo que respecta a módulo de Poisson y resistencia a flexión versus la mezcla control.

RECOMENDACIONES

1. Los agregados de escoria siderúrgica de horno eléctrico tienen un buen historial de desempeño, sin embargo, es muy importante controlar el contenido de humedad cuando se usa este tipo de agregados. Los problemas potenciales incluyen variaciones en la trabajabilidad y la consolidación, si no se maneja bien la humedad del agregado de escoria.
2. La Universidad de San Carlos de Guatemala, por medio de la Facultad de Ingeniería, tanto a nivel de licenciatura como de postgrado, debe continuar con las investigaciones de dicho material, ya que el mismo puede ser utilizado como agregado fino para la elaboración de pavimentos rígidos.
3. Crear nuevas empresas con base en materiales y tecnologías innovadoras para diseñar mezclas o sistemas constructivos o para que una comunidad simplemente produzca sus propios materiales, creando empleos, y rompiendo paradigmas sobre producción y distribución de materiales.
4. Actualmente existe en Centro América una única planta que produce escoria siderúrgica de horno eléctrico, y la misma se encuentra en nuestro país, por lo que se debe de aprovechar al máximo la utilización de la misma, ya que esta se vende a un menor costo que un agregado tradicional.

5. La escoria siderúrgica como agregado grueso dio valores menores con el cemento de tipo CFB, por lo tanto se sugiere que se continuen realizando más análisis en relación con la presente mezcla, ya que este tipo de cemento es el que se utiliza para hacer la mayoría de elementos prefabricados.
6. Utilizar la escoria siderúrgica como bases y subbases de carreteras, ya que es posible, dadas sus condiciones de dureza y forma, que permitan, mediante tratamiento mecánico previo, crear esqueletos minerales resistentes, con una elevada capacidad para transmitir las cargas del tráfico a las capas inferiores sin deformarse.
7. Continuar la utilización de las escorias siderúrgicas como agregado, ya que esto reduce el consumo y explotación de recursos naturales como piedra caliza, agregados de cantera, entre otros.
8. Continuar con la explotación de la escoria siderúrgica de horno eléctrico, ya que esto sería de un beneficio social, siendo una alternativa más para la generación de empleos.
9. Tener especial cuidado con la temperatura de la mezcla de concreto hidráulico usando escoria, ya que por sus propiedades tiende a retener el calor.

BIBLIOGRAFÍA

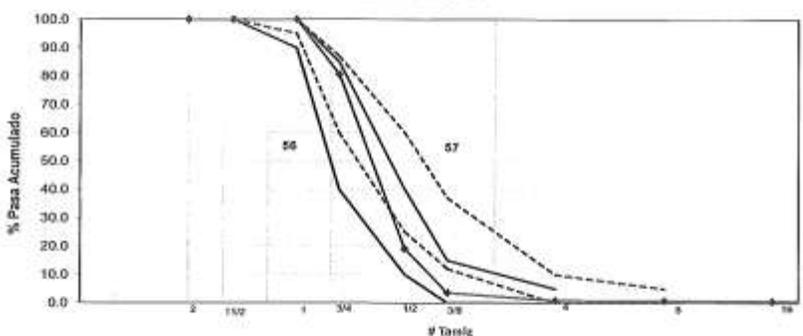
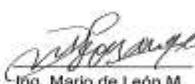
1. CEDEX, 1997. *Escorias de acería de horno de arco eléctrico*. [en línea]
Disponible en <http://www.cedexmateriales.vsf.es/view/catalogo.aspx>
[Consulta: septiembre de 2012]
2. CONSEJO NACIONAL DE PRODUCCIÓN LIMPIA (CPL) y ASIMET.
Guía Técnica para el manejo de escorias de fundiciones. [en línea].
Disponible en <http://www.produccionlimpia.cl> [Consulta: agosto de 2012]
3. DELGADO ALAMILLA, Horacio. *Influencia de la granulometría en las propiedades granulométricas de la mezcla asfáltica*. Publicación técnica No 299 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Sanfandila, Querétaro, 2006. 97 p.
4. GUIMARAES, Gerardo. 2º Congreso Ibérico sobre hormigón autocompactante, ensayo químico alca-carbonato, publicación técnica, Colombia, 1 y 2 de julio de 2010. 30 diapositivas ppt.
5. IHOBE. *Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Escorias de acerías*. [en línea]. <http://www.ihobe.net> [consulta: agosto 2012]
6. KLEEMAN, Richard. *Reciclaje de escorias siderúrgicas con equipos móviles de trituración*. Publicación técnica, Secretaría de transporte. España, 2009. 15 p.

7. MALDONADO VILLA, Edgar. *Desarrollo de concreto de alto desempeño a partir de escoria siderúrgica*. Documento de ingeniería de los materiales, Colombia, 2009. 50 p.

8. SOTO, Ricardo. *Evaluación y análisis de mezcla de concreto, elaboradas con agregados de origen pétreo (canto rodado y trituración) y escoria de acería*. Tesis de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad San Carlos de Guatemala, 2008. 124 p.

APÉNDICES

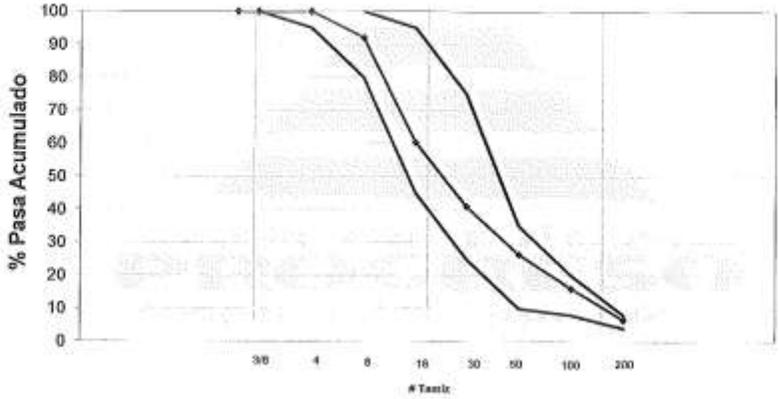
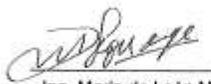
Apéndice 1. Ensayo mezcla control granulometría de agregado grueso

 <p>CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 54 01, zona 8 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181 cctec@centropro.com</p>		OT	88384-2								
		FECHA	11/07/2011								
		PÁGINA	1 de 1								
		IMPRESIÓN	11/07/2012								
Cliente	CENTRO TECNOLÓGICO	Procedencia	AGRECA ZONA 8								
Dirección	-	Muestra	PIEDRA 3M*								
Contacto	ING. WILLIAM OLIVERO	Análisis(a)	ANTONIO CANO								
Título(s)	-	Proyecto	CONCRETO PATRON CON AGREGADO DE AGRECA ZONA 8 ESTUDIO COMPARATIVO CON ESCORIA DE ALTO HIERNO								
INFORME DE ENSAYOS											
Humedad Cugática (porcentaje) ASTM C-43	-	Masa Unitaria Compactada (kg/m ³) ASTM C-29	1,697								
Humedad (%) ASTM C-566	-	Masa Unitaria Suelta (kg/m ³) ASTM C-29	1,369								
Densidad Relativa (sg) ASTM C-127	2.71	Masa Unitaria Suelta Humeda (kg/m ³) ASTM C-29	-								
Absorción % ASTM C-127	0.61	Pasa Tambo 80 Mesh (%) ASTM C-117	0.44								
Módulo de Rotura	1.88	Módulo de Flexión (MPa) ASTM C-136	7.13								
GRANULOMETRIA DE AGREGADO GRUESO NORMA ASTM C-136											
											
Estándar (mm)	80	37.5	20	10	12.5	5.5	4.75	2.36	1.18		
Nominal (pulg)	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	4	8	16		
Masa Retenido (g)				1000.0	3235.0	859.0	142.0	0.0	4.4		
% Pasa Acumulado	100.0	100.0	100.0	86.7	10.1	3.8	0.9	0.8	0.7		
Total Tamizado (g)		5224									
 Analista.		 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio									
<small>* Límites en base a norma ASTM C-39 * La ubicación de la muestra en fase suelta es tipo al método y tamizado es norma ASTM C-330.</small>											
OBSERVACIONES											
<small>Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. [g] debe reproducirse hasta milímetro, salvo que se haga integración y varía aplicación del CCTEC.</small>											

904-CT-AG-12-02

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Apéndice 2. Ensayo mezcla control granulometría de agregado fino

 CEMENTOS PROGRESO S.A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 18-01, zona S La Pedrera Tel: 22884176 Fax: 22884181 cete@campro.com		OT	18084-3							
		FECHA	11/07/2011							
		PÁGINA	1 de 1							
		IMPRESIÓN	11/01/2012							
Cliente	CENTRO TECNOLÓGICO	Procedencia	AGRECA ZONA B							
Dirección		Muestra	ARENA CALZA							
Contacto	ING. WILLIAM OLIVERO	Análisis(a)	ANTONIO GANG							
Teléfono		Proyecto:	CONCRETO PATRON CON AGREGADOS DE AGRECA ZONA B ESTUDIO COMPARATIVO CON ESCORIA DE ALTO HORNO							
INFORME DE ENSAYOS										
Materia Original (color) ASTM C-40	0	Masa Unitaria Compactada (kg/m ³) ASTM C-29	1761							
Humedad (%) ASTM C-556	4.99	Masa Unitaria Suelta (kg/m ³) ASTM C-29	1616							
Densidad Relativa (ss) ASTM C-128	2.68	Masa Unitaria Suelta Hmeda (kg/m ³) ASTM C-29	1126							
Absorción % ASTM C-128	0.85	Pasa Tambo 0.075mm (%) ASTM C-117	6.034							
Módulo de Hudson	6.42	Módulo de Finura (MF) ASTM C-136	2.66							
GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO NORMA ASTM C-136										
										
Estándar (mm)	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075		
Nominal (pulg)	3/8	4	8	16	30	60	100	200		
Masa Retenido (g)		0.3	39.5	158.6	46.0	72.6	51.7	47.2		
% Pasa Acumulado	100.0	99.9	92.0	85.3	40.9	26.4	16.1	6.6		
Total Tamizado (g)	500									
 Analista.				 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio.						
*Unidos en base a norma ASTM C-33 **La reducción de la muestra se hizo acabo en base al método plastado en norma ASTM C-102.										
OBSERVACIONES										
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas (S) esta reproducción debe ser con la aprobación del CETEC.										

BSL-CT-AG-3E-01

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Apéndice 3. **Ensayo mezcla control diseño con cemento UGC**

 <p>CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181</p>		OT: 18087-3	
		FECHA: 2012-01-10	
		PÁGINA: 1 de 1	
		IMPRESIÓN: 2012-02-17	
Cliente: WILLIAM OLIVERO Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6 Contacto: WILLIAM OLIVERO Teléfono: 22864100		TIPO DE FALLA 	
Procedencia: CETEC Proyecto: DISEÑO DE MEZCLA CONTROL (ESCORIA) DE CEMENTO LLISZ-30000ed Analista(s): EDY / RAFA Fecha de ensayo: 2012-01-16			

INFORME DE DISEÑO DE MEZCLA

Formulación de Diseño de Mezcla		No. de Prueba	Asent. (mm) ASTM C-143	Rel. A/C	% Aire ASTM C-431	M.C. (kg/m ³) ASTM C-138	Fecha de Hchura	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Tipo de Concreto	Masa (kg)	Área (mm ²)	Resistencia Compresión		Tipo de Falla
Material	Cantidad (kg/m ³)												ASTM C-138	N/mm ²	
Cemento	316	1	95.25	0.53	2.1	2371	2012-01-16	2012-01-20	7	300	13.22	18242	22.44	3255	3
Agua	168	2	95.25	0.53	2.1	2371	2012-01-16	2012-01-23	7	300	13.28	18272	22.59	3277	3
Agregado Fino No. 1	939	3	95.25	0.53	2.1	2371	2012-01-16	2012-01-23	7	300	13.21	18242	23.31	3381	3
Agregado Fino No. 2	-	4	95.25	0.53	2.1	2371	2012-01-16	2012-02-13	28	300	13.26	18242	20.63	4102	1
Agregado Grueso No. 1	950	5	95.25	0.53	2.1	2371	2012-01-16	2012-05-10	20	300	13.22	18242	20.31	4107	1
Agregado Grueso No. 2	-	6	95.25	0.53	2.1	2371	2012-01-16	2012-02-13	28	300	13.18	18211	20.56	4199	3
Agregado Grueso No. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aditivo (ml/kg concreto):	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS Agregado Fino No. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS Agregado Fino No. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS Agregado Grueso No. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS Agregado Grueso No. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% ABS Agregado Grueso No. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Observación:	Trabajabilidad:	BUENA	Apariencia:	BUENA
 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio				

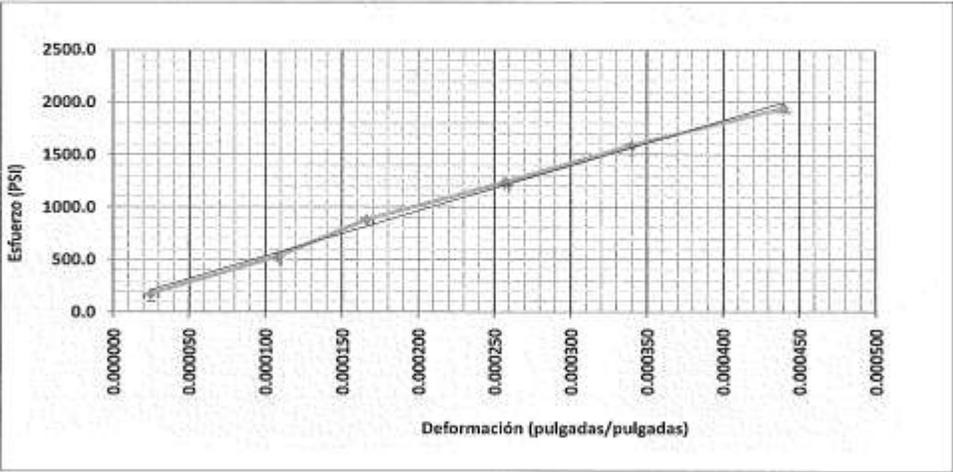
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. Se debe proporcionar este informe, salvo que se haga integramente y con la aprobación del CETEC.

SGL-CT-CP-IE-01/ Rev. 0

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Apéndice 4. Ensayo mezcla control diseño con cemento UGC módulo estático de elasticidad y módulo de Poisson de concreto en compresión (28 días)

		Laboratorio Central		OT:	18087-3								
		Centro Tecnológico		FECHA OT:	2012/01/10								
		15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera		PAGINA:	1 DE 1								
		Tel: 22864178 Fax: 22864181		IMPRESION:	2012/02/17								
CLIENTE:	CENTRO TECNOLÓGICO												
CONTACTO:	WILLIAM OLIVERO												
MUESTRA:	CILINDRO												
PROCEDENCIA:	CETEC												
PROYECTO:	DISEÑO DE MEZCLA CONTROL (ESCORIA) DE CEMENTO UGC, 3000PSI												
TOMA DE DATOS MODULO DE ELASTICIDAD													
MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD Y MODULO DE POISSON DE CONCRETO EN COMPRESION													
ASTM C 469													
DATOS DE ENSAYO													
Id. Cilindro	Tipo de curado	Fecha de hechura	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Resistencia a compresion		Módulo de Elasticidad			Módulo de Poisson
								PSI	N/mm ²	PSI	kg/cm ²	MPa	
18087-3-B	ESTANDAR	16/01/2012	13/02/2012	28	162.273	304.80	13.18	4100	28.95	3.23.E+06	226316	2.22E+04	0.15



 Christian Chiriz ANALISTA	 Ing. Mario de Leon M. JEFE DE LABORATORIO
--	---

Observaciones: * MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

SGL-CT-CP-IE-13/ REV 2

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Apéndice 6. Ensayo mezcla control diseño con cemento CFB

	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181	DT: 18087-1 FECHA: 2012-01-10 PÁGINA: 1 de 1 IMPRESION: 2012-02-17
Cilente: WILLIAM OLIVERO	Procedencia: CETEC	TIPO DE FALLA
Dirección: 15 AV. 18-01 ZONA 6	Proyecto: DISEÑO DE MEZCLA CONTROL (ESCORIA) DE CEMENTO CFB ADICION	
Contacto: WILLIAM OLIVERO	Analista(s):	
Teléfono: 22864100	Fecha de ensayo: 2012-01-17	

INFORME DE DISEÑO DE MEZCLA

Formulación de Diseño de Mezclas		No. Cil.	Asent. (mm) ASTM C-413	Rel. A/C	% Aire ASTM C-231	M.L. (kg/m³) ASTM C-136	Fecha de Muestreo	Fecha de Ensayo (días)	Tipo de Concreto	Masa (kg)	Área (mm²)	Resistencia a Compresión		Tipo de Falla	
Materia	Cantidad (kg/m³)											Procedencia	Min ²		Max ²
Cemento	318		101.60	0.52	2.1	2396	2012-01-17	2012-01-24	4000	13.43	18362	37.22	5399	3	
Agua	165		101.60	0.52	2.1	2396	2012-01-17	2012-01-24	4000	13.45	18362	37.32	5413	2	
Agregado Fino No. 1	951		101.60	0.52	2.1	2396	2012-01-17	2012-01-24	4000	13.41	18362	35.08	5068	2	
Agregado Fino No. 2	-		101.60	0.52	2.1	2396	2012-01-17	2012-02-14	4000	13.52	18362	43.23	6270	1	
Agregado Grueso No. 1	962		101.60	0.52	2.1	2396	2012-01-17	2012-02-14	4000	13.5	18242	44.88	6308	1	
Agregado Grueso No. 2	-		101.60	0.52	2.1	2396	2012-01-17	2012-02-14	4000	13.46	18242	45.14	6548	3	
Agregado Grueso No. 3	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Aditivo (ml/kg cemento):	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
% ABS-Agregado Fino No. 1	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
% ABS-Agregado Fino No. 2	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
% ABS-Agregado Grueso No. 1	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
% ABS-Agregado Grueso No. 2	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
% ABS-Agregado Grueso No. 3	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Observación:		Trabajabilidad:		Apariencia:		BUENA		BUENA		BUENA		BUENA			

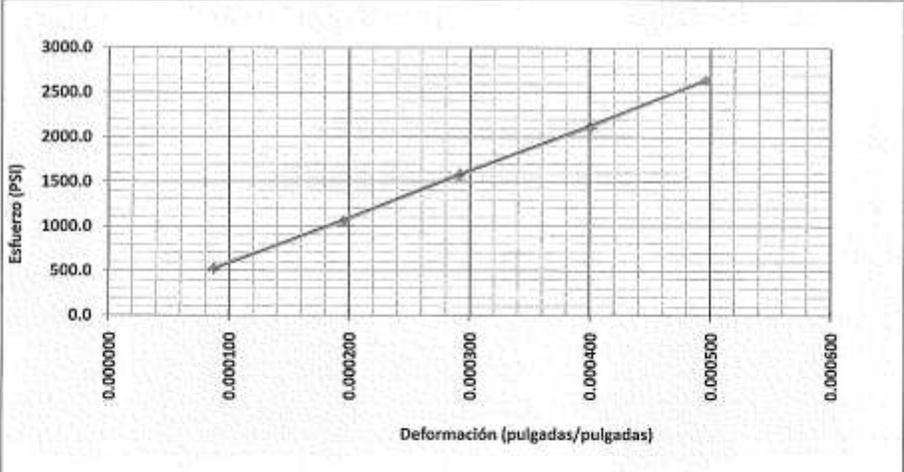
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la autorización del CETEC.

SGL-CT-CP-IE-011 Rev. 0

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Apéndice 7. **Ensayo mezcla control diseño con cemento CFB módulo estático de elasticidad y módulo de Poisson de concreto en compresión (28 días)**

		Laboratorio Central Centro Tecnológico 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181						OF: 18007-1					
								FECHA OT: 2012/01/10					
								PAGINA: 1 DE 1					
								IMPRESION: 2012/02/17					
CLIENTE:	CENTRO TECNOLÓGICO												
CONTACTO:	WILLIAM OLIVERO												
MUESTRA:	CILINDRO												
PROCEDENCIA:	CETEC												
PROYECTO:	DISEÑO DE MEZCLA CONTROL (ESCORIA) DE CEMENTO CFB, 4000PSI												
TOMA DE DATOS MODULO DE ELASTICIDAD													
MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD Y MODULO DE POISSON DE CONCRETO EN COMPRESION													
ASTM C 469													
DATOS DE ENSAYO													
Id. Cilindro	Tipo de curado	Fecha de hechura	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Álora (mm)	Masa (g)	Resistencia a compresion		Módulo de Elasticidad			Módulo de Poisson
								PSI	N/mm ²	PSI	kg/cm ²	MPa	
18007-1-6	ESTANDAR	17/01/2012	14/02/2012	28	162.4	304.60	13.46	6548	45.14	5.26.E+06	360255	3.01E+04	0.15



 Christian Chiriz ANALISTA	 Ing. Mario de Leon M. JEFE DE LABORATORIO
--	---

Observaciones: * MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentados. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

SGL-CT-CP-1E-13/ REV 2

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Apéndice 8. **Ensayo mezcla control diseño con cemento CFB módulo resistencia a flexión, con dos puntos de carga ASTM C-78**

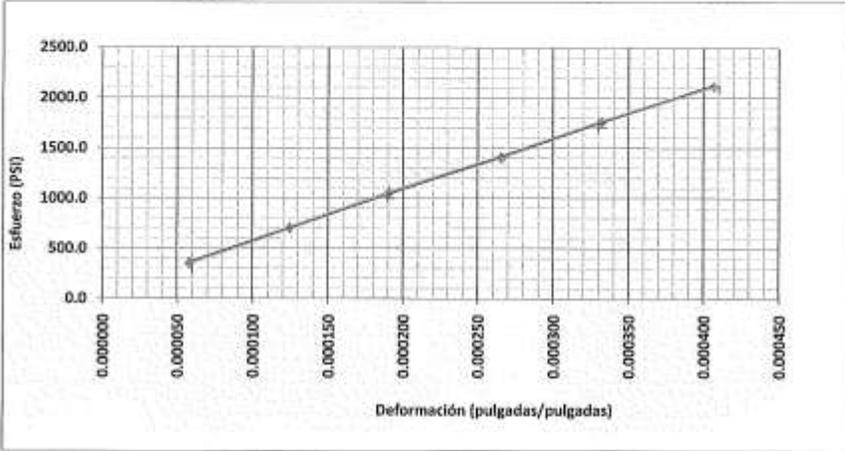
	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181 cete@compro.com			OT	18087-1							
				FECHA	2012-01-10							
				#CÓPIA	1 DE 1							
				FECHA IMPRESIÓN	2012-02-10							
Cliente	CENTRO TECNOLÓGICO		Proyecto	DISEÑO DE MEZCLA CONTROL (ESCORIA), CEMENTO CFB, 4060PSI								
Dirección	ING. WILLIAM OLIVERO											
Contacto	15 AV. 18-01 ZONA 6 INTERIOR FINCA LA PEDRERA		Muestra	VIDA								
Teléfono	22864100		Analista	RICARDO RODAS								
INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXION CON DOS PUNTOS DE CARGA (ASTM C-78)												
No. Lab.	Identificación Cliente	Medidas Promedio (mm)			Masa (kg)	Fecha Hecura	Fecha Rotura	Edad (días)	Longitud entre apoyos (mm)	Carga Máxima (N)	MÓDULO DE ROTURA	
		Largo	Ancho	Alto							[N/mm ²]	[kg/cm ²]
1	VICIA No.1	535.00	150.34	151.79	39.200	2012-01-17	2012-01-24	7	457.2	40990	5.215	53.2
2	VICIA No.2	536.00	150.72	154.64	39.130	2012-01-17	2012-02-14	28	457.2	54550	6.859	69.9
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		 Analista		 Ing. Mario de León Jefe de Laboratorio								
OBSERVACIONES:												
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación de CETEC.												

SGL-CT-CP-IE-10REV 01

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Apéndice 10. **Ensayo mezcla control diseño con cemento estructural módulo estático de elasticidad y módulo de Poisson de concreto en compresión (28 días)**

	Laboratorio Central Centro Tecnológico 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181		OTI:	18057-2									
			FECHA OTI:	2012/01/10									
			PAGINA:	1 DE 1									
			IMPRESION:	2012/02/17									
CLIENTE:	CENTRO TECNOLÓGICO												
CONTACTO:	WILLIAM OLIVERO												
MUESTRA:	CILINDRO												
PROCEBENCIA:	CETEC												
PROYECTO:	DISEÑO DE MEZCLA CONTROL (ESCORIA) DE CEMENTO 5800, 5000PSI												
TOMA DE DATOS MODULO DE ELASTICIDAD													
MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD Y MODULO DE POISSON DE CONCRETO EN COMPRESION													
ASTM C 469													
DATOS DE ENSAYO													
Id. Cilindro	Tipo de cuidado	Fecha de hechura	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Resistencia a compresion		Módulo de Elasticidad			Módulo de Poisson
								PSI	N/mm ²	PSI	kg/cm ²	MPa	
18057-2-8	ESTANDAR	18/01/2012	15/02/2012	28	152.4	304.80	13.4	5584	39.57	5.03.E+06	251853	3.45E+04	0.15



 Christian Olivarez ANALISTA	 Ing. Mario de Leon M. JEFE DE LABORATORIO
--	--

Observaciones: * MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

SGL-CT-CP-3E-13/ REV 2

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Apéndice 12. **Carta de autorización para reproducir los ensayos realizados por Cementos Progreso, tanto los de escoria siderúrgica como los ensayos de la muestra control**



Guatemala, 24 de julio de 2012.

M.A. Ing. Armando Fuentes Roca.
Coordinador Maestría en Ingeniería Vial.
Escuela de estudios de Post Grados
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ing. Fuentes:

Los resultados de los ensayos realizados en diciembre de 2011 en el laboratorio de Cementos Progreso para el estudio de la escoria y como base de información para la tesis "Aplicación de Escoria Siderúrgica como Agregado en Mezclas de Concreto para Pavimento Rígido", pueden incorporarse como parte de la información de la tesis.

Agradeciendo su atención, aprovecho la oportunidad para suscribirme,

Atenta y cordialmente,

MBA. Ing. Civil William Olivero León

Jefe Área Técnica de Infraestructura, Centro Tecnológico de Cementos Progreso

15 Avenida 18-01 zona 6, Guatemala, CA 01006
PBX: 2-286-4100 DIRECTO: 2-286-4178 FAX: 2-286-4181
WWW.CEMENTOSPROGRESO.COM

Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.