

CONCRETO ALIGERADO BASE ESCORIA DE PROCESOS METALÚRGICOS

**DARÍO ACOSTA RUBIANO
KEEYLIN ELIANA CASTILLO RODRÍGUEZ**

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

2013

CONCRETO ALIGERADO BASE ESCORIA DE PROCESOS METALÚRGICOS

DARÍO ACOSTA RUBIANO
KEEYLIN ELIANA CASTILLO RODRÍGUEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Civil.

Director:

RICARDO ALFREDO CRUZ HERNÁNDEZ

Ph D. Ingeniero Civil
Universidad Industrial de Santander

Codirector:

LUDWING PÉREZ BUSTO

MS.c Ingeniero Civil
Universidad Industrial de Santander

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2013

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado en primera instancia a Dios porque siempre ha estado conmigo en todo momento, cuidándome y dándome fortaleza y sabiduría para continuar.

A mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, siendo un gran soporte en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad.

A mis hermanas a quienes quiero y admiro tanto, las cuales siempre han estado presente en todo momento que las he necesitado y por la confianza que hemos tenido.

A mis familiares y amigos que de una u otra forma me apoyaron y sirvieron de guía en mi camino logrando esta meta tan anhelada y que me permitieron crecer no sólo profesionalmente y sí no también personalmente.

DARÍO ACOSTA RUBIANO

DEDICATORIA

Dedico mi tesis con todo mi amor a Dios por darme la inteligencia, sabiduría, paciencia, entendimiento y la capacidad de ejercer este proyecto.

A mis padres, por su apoyo incondicional, tanto al inicio como al final de la carrera, por estar pendientes de mí a cada momento, no hay un día en el que agradezca a Dios el haberme colocado entre ustedes, el tesoro más valioso que tengo.

A todas las personas que estuvieron conmigo, porque cada uno aportó un granito de arena, les dedico todo el esfuerzo, sacrificio y tiempo que entregué a esta tesis.

A la Universidad Industrial de Santander, por brindarme los conocimientos a través de los profesores y laboratoristas que intervinieron en la realización de esta investigación.

KEEYLIN ELIANA CASTILLO RODRÍGUEZ

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. MATERIALES Y ENSAYOS	16
2. PROGRAMA EXPERIMENTAL	20
3. ANÁLISIS Y RESULTADOS	30
4. APLICACIONES DEL CONCRETO OBTENIDO.....	38
5. CONCLUSIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXOS	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación del concreto según la masa unitaria.....	20
Tabla 2.	Masa unitaria del cm	30
Tabla 3.	Densidad del material endurecido.....	30
Tabla 4.	Aplicaciones Del Concreto Obtenido.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Ensayo de probetas a compresión.....	22
Figura 2.	Tubo de impedancia.....	23
Figura 3.	Representación de la máxima y mínima amplitud en un tubo de impedancia.	24
Figura 4.	(a-b) Sistema del micrófono móvil.....	25
Figura 5.	Osciloscopio y generador de señales.....	26
Figura 6.	Esquema de tubo de Kundt (a) y perfil de la onda estacionaria formada en su interior (b). Sistema de micrófono móvil externo. Fuente:[28].....	28
Figura 7.	Porcentaje de absorción, según el porcentaje de sustitución.....	31
Figura 8.	Resistencia a la compresión del CM según el porcentaje de sustitución.	32
Figura 9.	Resistencia a la flexión del CM según el Porcentaje de sustitución. ...	33
Figura 10.	Coeficiente de absorción del sonido a diferentes frecuencias.	34
Figura 11.	Índice de reducción de sonido NRC para diferentes sustituciones.	34
Figura 12.	Temperaturas internas de las probetas mediante la aplicación de fuego a diferentes temperaturas.	35
Figura 13.	Masa de las muestras de CM antes y después de la aplicación del fuego.	36
Figura 14.	Porcentaje de pérdida en masa.	36

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.	CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	45
ANEXO B.	DISEÑO DE MEZCLA.....	56
ANEXO C	MEMORIAS DE ENSAYO DE COMPRESIÓN A LA RUPTURA DE MUESTRAS DE CONCRETO.....	59
ANEXO D	MEMORIAS DE ENSAYO DE ABSORCIÓN EN MUESTRAS DE CONCRETO	61
ANEXO E	MEMORIAS DE ENSAYO DE DENSIDAD DEL MATERIAL ENDURECIDO.....	62
ANEXO F	MEMORIAS DE ENSAYO DE MASA UNITARIA FRESCA	63
ANEXO G	MEMORIAS DE ENSAYO DE MÓDULO DE ROTURA EN MUESTRAS DE CONCRETO	65
ANEXO H	MEMORIAS DE ENSAYO DE ABSORCIÓN DEL SONIDO EN MUESTRAS DE CONCRETO.....	67
ANEXO I	MEMORIAS DE ENSAYO DE FUEGO EN MUESTRAS DE CONCRETO	102
ANEXO J	MEMORIAS FOTOGRÁFICAS DE LOS DIFERENTES ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE MATERIALES	106

RESUMEN

TÍTULO:

CONCRETO ALIGERADO BASE ESCORIA DE PROCESOS METALÚRGICOS.¹

AUTOR:

Darío Acosta Rubiano.
Keeylin Eliana Castillo Rodríguez.²

PALABRAS CLAVES:

Agregado fino, escoria de horno de cubilote (EHC), concreto modificado (CM), concreto liviano.

En este trabajo se propone el uso de la escoria producida en un horno de cubilote (EHC) para la fabricación de concreto aligerado. En el proceso de investigación, se caracterizó la EHC industrial respecto a su granulometría, densidad, absorción y humedad natural, procediendo a la realización de ensayos preliminares para obtener un porcentaje óptimo de sustitución de arena por escoria fina en diferentes proporciones (0%, 30%, 40% y 50%). Los ensayos preliminares mostraron un comportamiento favorable en su resistencia a compresión con el 30 % de sustitución. Una vez obtenido el porcentaje de sustitución óptimo, se llevó a cabo la realización de un concreto modificado (CM) con 30% de arena por EHC triturada y sustituciones de agregado grueso por EHC granulada en proporciones de 0%, 50%, 75% y 100%.

Se evaluó el comportamiento del CM, diseñado para una resistencia a la compresión de 21 MPa. Se realizaron las siguientes pruebas al concreto en estado fresco y en estado endurecido: Masa unitaria, densidad, absorción, resistencia a la compresión, módulo de rotura, absorción del sonido y comportamiento mediante la aplicación de fuego. El CM se puede catalogar como liviano para porcentajes superiores al 50% de sustitución. Las resistencias a la compresión encontradas para las sustituciones entre el 50 y el 100% varían entre los 15 y los 13 MPa. Al aumentar el porcentaje de sustitución por EHC, el CM presenta un menor porcentaje de absorción, una disminución en su densidad y favorable absorción acústica.

1. Proyecto de Grado

2. Facultad Físico - Mecánicas – Escuela de Ingeniería Civil - Director: Ricardo Cruz H. PhD. Ing.
Civil - Codirector: Ludwing Pérez Ms.c Ing. Civil

ABSTRACT

TITLE:

CONCRETO ALIGERADO BASE ESCORIA DE PROCESOS METALÚRGICOS.¹

AUTHOR:

Darío Acosta Rubiano.
Keeylin Eliana Castillo Rodríguez.²

KEYWORDS:

Fine aggregate, cupola furnace slag (EHC), modified concrete (CM), lightweight concrete.

This paper proposes the use of slag produced in a cupola furnace (EHC) for the manufacture of concrete lightened oven. In the process of research, it characterized the industrial EHC regarding their particle size, density, absorption and natural moisture, proceeding to preliminary trials to obtain an optimal percentage of replacement sand by fine slag in different proportions (0%, 30%, 40% and 50%), which expressed a favorable behavior in its resistance to compression with 30% of replacement. Once it obtained the percentage of replacement optimal, the realization of a concrete modified CM was carried out with 30% of EHC crushed sand and substitutions of added thickness by granulated EHC in proportions of 0%, 50%, 75% and 100%.

Evaluated the behavior of the CM, designed for resistance to compression of 21 MPa. They were performed the following tests to concrete in fresh and hardened State: unitary mass, density, absorption, compressive strength, break, absorption of the sound and behavior through the application of fire module. The CM can be classified as light to percentages greater than 50% of replacement. Compression resistances were found for substitutions between 50% and 100% vary between 15 and 13 MPa. To increase the percentage of replacement by EHC, CM presents a lower percentage of absorption, a decrease in its density and favorable acoustic absorption.

1. Proyecto de Grado

2. Facultad Físico - Mecánicas – Escuela de Ingeniería Civil - Director: Ricardo Cruz H. PhD. Ing. Civil - Codirector: Ludwing Pérez Ms.c Ing. Civil

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción ha enfocado sus investigaciones en la búsqueda de alternativas para el desarrollo de obras sostenibles y amigables con el medio ambiente. La escoria granulada es un material residual derivado de la industria metalúrgica y debido a su fácil acceso, puede tener un uso posterior como agregado en el concreto. [1] [2]

Las características de la escoria tanto físicas como químicas son de gran ventaja para ser sustituto en el concreto modificado puesto que es un material poroso, rico en sílice y bajo peso.

En la actualidad se han desarrollado múltiples investigaciones relacionadas con concreto y sus componentes, las cuales han sido asequibles a nuevos agregados para su modificación como un material de construcción cada vez más frecuente, como objetivo de estudio motivado por la reducción de la contaminación a través de una adecuada gestión de residuos industriales. [3] Teniendo en cuenta el desarrollo en la industria de la construcción desde la época de la revolución industrial y siguiendo una línea de construcciones sustentables se encuentra la necesidad de aprovechar al máximo todos los recursos. [4]

La utilización de la EHC representa un bajo consumo de energía para la realización de elementos para la construcción, lo que conlleva a adquirir bajos costos debido a su obtención siendo este un material residual de las fábricas de fundición. [5]

En ese contexto, este estudio estableció la evaluación del concreto modificado mediante la sustitución del agregado grueso por escoria granulada, para la fabricación de un concreto aligerado, por medio de ensayos de laboratorio con sus respectivos análisis de resultado, generando conocimiento en el área investigativa de elementos y materiales de construcción contribuyendo en la parte económica, diseño y manejo del medio ambiente en las obras.

1. MATERIALES Y ENSAYOS

El concreto utilizado para la realización de la mezcla del CM fue Cemex Tipo-1 con una densidad de 2956.10 Kg/m³. El agregado fino presentó una densidad específica aparente de 2582 Kg/m³, módulo de finura de 3.05, absorción de 0.75 % y contenido de materia orgánica 0%. El agregado grueso obtuvo una densidad de 2624 Kg/m³, un tamaño máximo de 1 pulgada y tamaño máximo nominal de ¾ de pulgada con absorción de 1.096 %. La escoria fina se caracterizó por tener una densidad de 2350 Kg/m³, un porcentaje de absorción de 0.85% y módulo de finura de 2.34. En la escoria granulada se determinó una densidad de 952 Kg/m³, porcentaje de absorción de 1.096%. El agua que se utilizó es apta para el consumo humano, con un pH promedio de 7.37 en el año actual por tanto es óptima para la realización de los ensayos.

Para la determinación de la densidad del cemento hidráulico se realizó el procedimiento descrito en la NTC 221 [6], utilizando el frasco de Le Chatelier que permitió medir el volumen correspondiente a una cierta masa de cemento, por medio del desplazamiento de un líquido que no reacciona con él (generalmente Kerosene), aprovechando el principio de Arquímedes. El cálculo de la densidad se realizó mediante la ecuación (1):

$$\text{Densidad (gr/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Masa del cemento (gr)}}{\text{Volumen desplazado (ml)}} \quad (1)$$

El análisis granulométrico se ajustó mediante la NTC 77 [7], Se seleccionaron muestra representativa para el agregado fino de 1000 gramos donde se usaron los tamices No 4, 8, 16, 30, 50, 100 ordenados en forma descendente. Para el agregado grueso se tomaron 7000 gr y se utilizaron los tamices 3/4", 1/2", 3/8", #4. El contenido de materia orgánica en el agregado fino se determinó usando la Norma Técnica Colombiana 127 [8]. Se comparó su tonalidad con la escala colorimétrica de Garder.

La masa unitaria es un buen índice para conocer la calidad del agregado y dar una idea del volumen natural de vacíos que produce el agregado en su acomodo; esta característica física se puede medir siguiendo el procedimiento establecido en la NTC 92 [9]. El cálculo de la masa se llevó a cabo mediante la ecuación (2):

$$\text{Masa (M)} = \frac{G-T}{V} \quad (2)$$

En la expresión; M es la masa unitaria del agregado en Kg/m³, G es la masa del agregado más el molde en Kg, T es la masa del molde en Kg, V es el volumen del molde en m³.

La metodología usada para la determinación de la densidad y la absorción del agregado grueso se describe en la NTC 176 [10]. Una vez realizados los procedimientos de la norma, se obtuvo la densidad aparente (DBulk), la densidad nominal (Dn), la densidad aparente saturada superficialmente seca (Da. SSS) y el porcentaje de absorción mediante las ecuaciones (3), (4), (5) y (6):

$$\text{Densidad aparente} = \frac{C}{(A-B)} \quad (3)$$

$$\text{Densidad aparente S.S.S} = \frac{A}{(A-B)} \quad (4)$$

$$\text{Densidad nominal} = \frac{C}{(C-B)} \quad (5)$$

$$\text{Absorción (\%)} = \left[\frac{A-C}{C} \right] * 100 \quad (6)$$

En la ecuación mostrada anteriormente; A es la masa de la muestra en condición S.S.S., B masa de la muestra en agua y C masa de la muestra secada en horno, las unidades de la densidad se expresa en gramos sobre centímetro cubico.

El procedimiento empleado para hallar la densidad y absorción del agregado fino se estipula en la Norma Técnica Colombiana 3674 [11], método B-Cuarteo y la NTC 237 [12].

Se calculó, la densidad aparente (DBulk), la densidad nominal (Dn), la densidad aparente saturada superficialmente seca (Da. SSS), y el porcentaje de absorción mediante las ecuaciones (7), (8), (9) y (10):

$$\text{Densidad aparente} = \frac{D}{(A+B-C)} \quad (7)$$

$$\text{Densidad aparente S.S.S} = \frac{B}{(A+B-C)} \quad (8)$$

$$\text{Densidad nominal} = \frac{D}{(A-C+D)} \quad (9)$$

$$\text{Absorción (\%)} = \left[\frac{B-D}{C} \right] * 100 \quad (10)$$

Donde; A es la masa del picnómetro lleno con agua, B masa de la muestra en condición S.S.S., en el aire, C masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración y D masa de la muestra secada al horno, las unidades de la densidad se expresa en gramos sobre centímetro cubico.

Debido a la pérdida del agua por evaporación, la muestra se preservó en un recipiente tapado y ubicado lejos de la luz solar como se describe en la NTC 1495 [13]. Se calculó la humedad mediante la ecuación (11):

$$W = \left[\frac{(M_{cws} - M_{cs})}{(M_{cs} - M_c)} \right] * 100 * \left[\frac{M_w}{M_s} \right] * 100 \quad (11)$$

En la expresión mostrada anteriormente; W es el contenido de agua en porcentaje, Mcws es la masa del contenedor y de la muestra húmeda en gramos, Mcs es la masa del contenedor y de la muestra seca en gramos, Mw es la masa del agua y Ms es la masa de las partículas sólidas en gramos.

La EHC para ser empleada como agregado fino, se trituró en la Máquina de los Ángeles y se fraccionó manualmente hasta reducir el tamaño de las partículas a 3/8" (9,51 mm) para ser sustituida como agregado grueso. Para determinar la densidad y absorción de la escoria se utilizó el procedimiento descrito en la NTC 237 [12], el cual cubre la densidad aparente, la densidad aparente S.S.S., la

densidad nominal y el porcentaje de absorción. El tamizado de la escoria se realizó siguiendo la NTC 77 [7]. Se utilizó además, el Sistema Unificado para la Clasificación de Suelos (USCS) para establecer la granulometría de la EHC como agregado fino. [14]

La dosificación para la elaboración del diseño de mezcla se realizó mediante los procedimientos del American Concrete Institute elaborado por el comité ACI 211[15], en cual se fundamenta en el principio básico de la relación agua/cemento siguiendo en forma ordenada una secuencia de pasos y así determinar la cantidad de cada material en peso y en volumen, para un metro cubico de concreto. [16]
[17]

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

La masa volumétrica es una herramienta importante utilizada para controlar la calidad del concreto recién mezclado. [18]. El concreto convencional se elabora con agregados de masa unitaria normal, sin embargo a nivel mundial se han desarrollado y utilizado concretos hechos con agregados livianos o pesados. La clasificación del concreto según su masa unitaria se presenta en la Tabla (1):

Tabla 1. Clasificación del concreto según la masa unitaria

MASA UNITARIA (Kg/m ³)	DESCRIPCIÓN
500-2000	Concreto ligero
2000- 2500	Concreto normal
2600- 5600	Concreto pesado

Fuente: elaboración Propia

El concreto liviano se caracteriza por su baja densidad, se considera aligerado cuando su densidad no exceda los 2000 Kg/m³. Las demás características dependerán del tipo de agregado. [19]

Este método se referenció a la NTC 1926 [20]. Se realizaron tres probetas por cada sustitución (0%, 50%, 75% y 100%) con dimensiones de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura.

El cálculo de la masa unitaria del concreto en estado fresco se determinó mediante la ecuación (12):

$$D(\text{Kg}) = [M_c - M_m] / V_m \quad (12)$$

En la ecuación (12), D es la masa unitaria del concreto, M_c es la masa del recipiente lleno con concreto, M_m es la masa del recipiente y V_m es el volumen del recipiente.

El ensayo de densidad del material en estado endurecido se aplicó a especímenes con un período de 28 días de curado y dimensiones, 10 cm de diámetro y 20 cm de altura. El procedimiento para determinar la densidad del CM en estado endurecido, se llevó a cabo según la NTC 4992 (6.3) [21] y se calcula aplicando la ecuación (13).

$$\text{Densidad (Kg/m}^3\text{)} = [\text{Ms} / \text{Mh}-\text{Ma}] * 1000 \quad (13)$$

En la ecuación (13), Mh es la masa saturada superficialmente, Ma masa inmersa en agua y Ms masa seca (Ms).

Para obtener la absorción del CM se empleó la NTC 4992 (6.3) [21], donde se utilizaron especímenes cilíndricos de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura con un tiempo de curado de 28 días. La absorción de agua (Aa) en porcentaje, se calculó mediante la ecuación (14):

$$\text{Aa}\% = \Delta \text{Volumen} / (\text{Volumen Total}) * 100\% \quad (14)$$

En la expresión mostrada el Δ Volumen es la diferencia entre el volumen inicial y el volumen final en un periodo de tiempo determinado y el volumen total es el volumen inicial.

La medida de la resistencia a la compresión se efectuó por medio de las recomendaciones de la norma técnica colombiana NTC 1377 [22]. Las probetas usadas para este ensayo se curaron en agua por un periodo de 28 días de forma similar para cada porcentaje de sustitución, siguiendo las recomendaciones de la, la relación agua cemento (a/c) fue de 0.52, se mantuvo fija para cada sustitución, el asentamiento seleccionado de 4 cm y el contenido de aire 2%. La prueba se realizó siguiendo los lineamientos de la NTC 673 [23] para probetas cilíndricas, utilizando la máquina de ensayos MTS 647 Hydraulic Wedge Grip, mostrado en la Figura.1, la cual aplica cargas sobre la superficie superior del cilindro a una velocidad especificada mientras ocurre la falla.

Figura 1. Ensayo de probetas a compresión.



Fuente: elaboración Propia

La resistencia a la flexión del concreto se refiere al módulo de rotura. Comúnmente se evalúa por medio de ensayos de flexión sobre vigas de sección cuadrada simplemente cargada en el punto central. Los especímenes se elaboraron con dimensiones de 7 cm de base, por 7 cm de altura y una luz libre de 21 cm. Se curaron durante un periodo de tiempo de 28 días sumergidos en agua. Para la elaboración de estos se empleó lo establecido por la I.N.V.E- 402-07 [24] y para el ensayo de la resistencia a la flexión por el método de la viga simplemente cargada en el punto central, se realizó lo estipulado en la I.N.V.E- 415-07 [25].

El módulo de rotura se calculó mediante la ecuación (15):

$$MR = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (15)$$

Donde; P es la carga aplicada en N, L es la longitud de la luz dada en mm, b es el ancho promedio del espécimen en el punto de fractura en mm. Los valores

obtenidos para el módulo de rotura, según la norma, se tiene unidades lb/pulg² (PSI), los resultados se expresan en Kg/cm².

Una de las características de un concreto es la determinación de la absorción del sonido. Para el CM se evaluó de acuerdo al método del tubo de impedancia, el cual permite medir las propiedades acústicas de los materiales de construcción, permitiendo hallar el coeficiente de absorción en las muestras utilizadas. El equipo para el ensayo de absorción del sonido consiste en un tubo cerrado de PVC de 4 pulgadas de diámetro, con sección transversal uniforme de extremo a extremo. Está provisto de un parlante de 3 pulgadas que se encuentra en el extremo opuesto de la muestra, el cual produce ondas acústicas, donde la fase de interferencia entre la onda incidente y reflejada, resulta en la formación de un patrón de ondas estacionarias.

Figura 2. Tubo de impedancia



Fuente: elaboración Propia

La magnitud de la presión en los nodos y antinodos es medida con un micrófono de prueba, el cual se desliza dentro del tubo. La relación de presión máxima (antinodo) y la presión mínima (nodo) es llamada standing wave ratio SWR, esta relación, la cual es mayor o igual a uno, es usado para determinar el coeficiente de amplitud reflejada $|r|^2$ de la muestra y el coeficiente de absorción del material α .

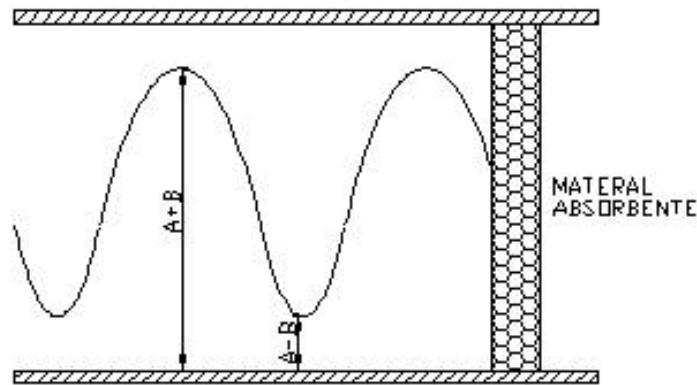
La amplitud en un antinodo de presión (máxima presión) es igual a:

$$P_{\text{máx}} = (A + B)\cos(\omega t) \quad (16)$$

La amplitud en un antinodo de presión (mínima presión) es:

$$P_{\text{mín}} = (A - B)\cos(\omega t) \quad (17)$$

Figura 3. Representación de la máxima y mínima amplitud en un tubo de impedancia.



Fuente: CASTAÑEDA, et al [26]

No es posible medir A o B directamente pero se puede medir (A+B) y (A-B), los cuales son valores de amplitud medida en unidades de voltaje. La medición se logra al resonar la onda en el tubo, formándose de esta manera ondas estacionarias. Se puede definir la relación de presión máxima a presión mínima como SWR (standing wave ratio), mediante la siguiente ecuación:

$$SWR = \frac{P_{\text{máx}}}{P_{\text{mín}}} \quad (18)$$

Así que:

$$SWR = \frac{A+B}{A-B} \quad (19)$$

La ecuación de conservación de la energía, puede ser manipulada para determinar el coeficiente de reflexión del sonido:

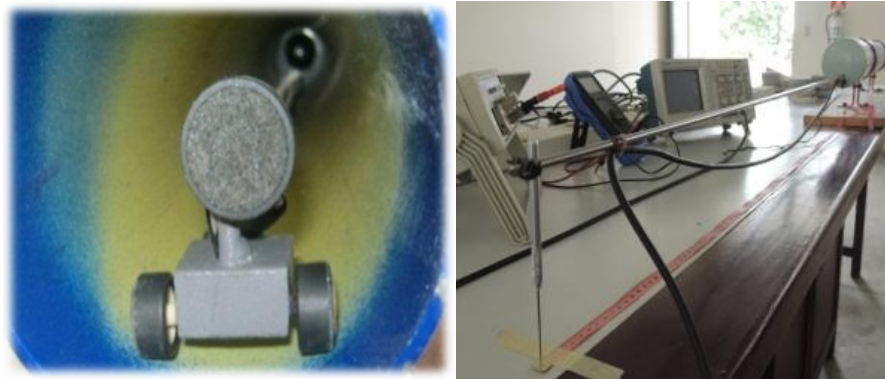
$$|r| = \frac{B}{A} = \frac{SWR-1}{SWR+1} \quad (20)$$

Como se ha definido previamente en la ecuación 20, la energía absorbida es proporcional al cuadrado de las relaciones de amplitud de las ondas:

$$\alpha = 1 - |r|^2 \quad (21)$$

El sistema de micrófono móvil consiste en una varilla de longitud 1.3 metros, con ruedas de caucho para el desplazamiento del sistema por el centro de la sección transversal del tubo. Al otro extremo, el cable del micrófono cuenta con un conector tipo BNC. Se ubicó un bafle de 3 pulgadas, el cual está atornillado a una lámina acrílica como soporte. Se fijaron conectores tipo hembra en la tapa del tubo para conectar el cable que conduce la señal del generador de funciones al bafle, por medio de conectores tipo macho.

Figura 4. (a-b) Sistema del micrófono móvil.



Fuente: elaboración Propia

El ensayo tiene como fundamento físico la teoría de ondas estacionarias en un tubo cerrado. El límite superior de frecuencias a utilizar en el ensayo y el diámetro del tubo están relacionados por la siguiente desigualdad, según la norma ASTM C 384 [27]

$$f < 0.586 \frac{vs}{d} \quad (22)$$

Siendo f la frecuencia máxima permitida en el ensayo medida en Hertz, vs la velocidad del sonido (343 m/s), d el diámetro del tubo (0.107 m), de manera que las frecuencias deben ser menores de 1878.5 Hz. Las frecuencias utilizadas en el ensayo fueron: 250, 315, 400, 630, 800, 1000, 1250 y 1600 Hz. La longitud del tubo también se restringe a la siguiente desigualdad que la relaciona con la longitud de onda y diámetro:

$$3 \frac{\lambda}{4} < L - d \quad (23)$$

Donde L es la longitud del tubo (m) y λ es la longitud de onda (m). La Ec. (13) indica que L debe ser mayor a 0.24 m. Se comprueba la viabilidad del ensayo, puesto que L es 1.2 m. El ensayo se realizó con los parámetros de la ASTM C 384, utilizando el tubo de impedancia, un osciloscopio marca Tektronic de referencia TDS 200 2B y un generador de señales marca PROTEK de referencia 9205A.

Figura 5. Osciloscopio y generador de señales



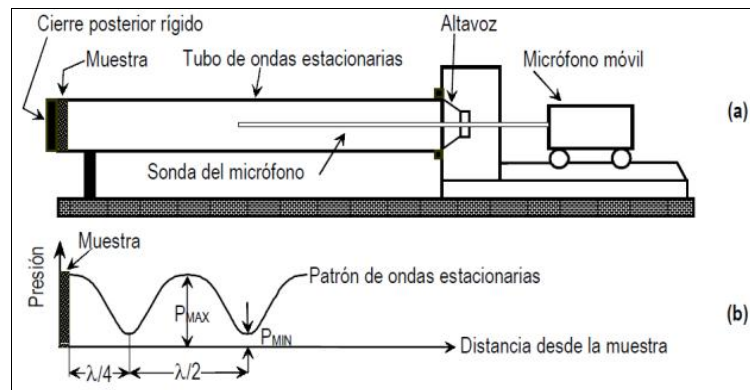
Fuente: elaboración Propia

Se colocó la primera muestra de concreto con EHC de dimensiones de 0.107 m de diámetro y 0.025 m de altura, con un periodo de curado de 28 días en agua. En un extremo del tubo de impedancia se ubica el parlante con su soporte y en el otro extremo el micrófono desplazándose a lo largo del tubo por medio del sistema de varilla móvil. Se conectó el cable del micrófono directamente a la entrada del osciloscopio por medio del conector BNC y el cable del parlante al generador de señales por medio de los conectores. Se generó una señal de 250 Hz.

La magnitud de la presión en los nodos y antinodos fue medida con el micrófono de prueba. Se observó el osciloscopio para registrar los valores de amplitud, máximos (A+B) y mínimos (A-B) en milivoltios, a una distancia d igual a cero, es decir, con el micrófono a 1 mm de la muestra. Se desplazó el sistema móvil para ubicar el micrófono a una nueva distancia d , la cual registró el valor del nodo o antinodo adyacente al cero. Se repitió el procedimiento buscando todos los valores máximos y mínimos de amplitud a diferentes distancias, con la ayuda de una cinta métrica hasta llegar al otro extremo del tubo. Al concluir con la medición en los 250 Hz, se aumentó la frecuencia hasta 315 Hz, y se repitió el procedimiento de medición. Así mismo para todas las frecuencias hasta alcanzar los 1600 Hz.

Finalizando la medición de amplitudes en todas las frecuencias se cambió la muestra de concreto y se recommenzó con la toma de datos a 250 Hz. Este procedimiento aplicó para todas las muestras utilizadas.

Figura 6. Esquema de tubo de Kundt (a) y perfil de la onda estacionaria formada en su interior (b). Sistema de micrófono móvil externo. Fuente:[28]



Fuente: elaboración Propia

Una de las propiedades del concreto a medir es la resistencia al fuego, siendo este uno de sus méritos como material estructural puesto que el concreto tiene buenas propiedades de resistencia al fuego. Para este ensayo se utilizó probetas cubicas de dimensiones 0.20 m x 0.20 m x 0.10m los cuales se curaron sobre un periodo de 28 días en agua. Se sometieron a temperaturas entre 700 y 800°C asimilando el comportamiento de un incendio y cómo reacciona frente a esto. Se le aplicó una llama lograda mediante una boquilla avivada por gas propano.

Para el control de la temperatura de la llama que incidió sobre la cara expuesta del espécimen, se utilizó una termocupla tipo K expuesta a fuego directo la cual se conectó a una tarjeta de adquisición de datos que enviaba información al computador y se procesó en un programa elaborado en Labview 8.5, en este se observó los datos de la temperatura de la llama. La temperatura interna de la probeta, se midió con una termocupla tipo K bayoneta 1.80M a una profundidad de 4 cm. Este programa proporciona la temperatura respecto al tiempo mediante la curva de calentamiento patrón según la norma ISO 834. (En 1975 aceptada a nivel internacional como curva convencional de elevación de temperatura en un horno de ensayo).

Se empleó un horno con dimensiones externas de 0.8 m x 0.9 m x 0.7 m el cual está hecho con ladrillos refractarios tipo tolete, y está soportado sobre cilindros de concreto y como base del horno una placa de concreto reforzado. La llama se controló con la válvula del cilindro hasta obtener la temperatura requerida. Una vez realizado este paso se mantuvo constante la temperatura por un periodo de una hora.

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

De acuerdo con la masa unitaria, el CM con sustituciones del 0% y 50% se pueden clasificar como concretos de peso normal, mientras que los CM con sustituciones del 75% al 100% se consideran concretos ligeros. Los datos de masa unitaria se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Masa unitaria del cm

Sustitución de escoria granulada (%)	Masa unitaria [Kg/m ³]
C.C	2242,33
50%	2013,48
75%	1869,87
100%	1752,62

Fuente: elaboración Propia

La densidad del CM disminuye con el mayor grado de sustitución de agregado grueso por escoria granulada, presentándose una diferencia de 684.1 Kg/m³ entre el 0% y el 100% de sustitución.

Tabla 3. Densidad del material endurecido.

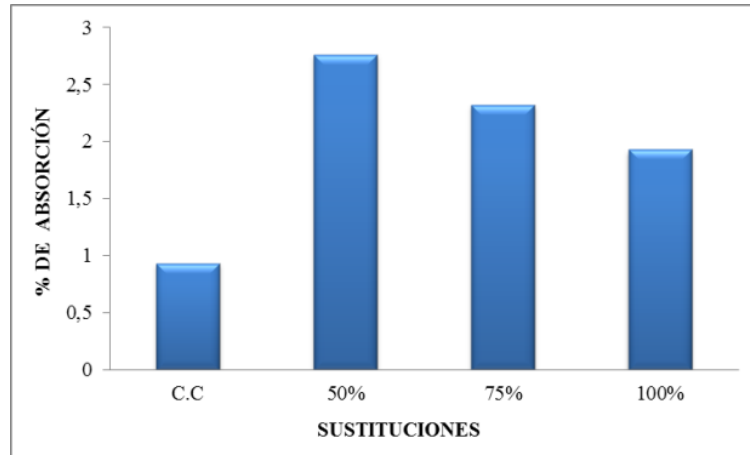
Porcentaje de sustitución de escoria granulada	Densidad del material endurecido [Kg/m ³]
C.C	2291,35
50%	1983,84
75%	1762,73
100%	1607,25

Fuente: elaboración Propia

En la Figura 7 se presentan los resultados del ensayo de absorción, en porcentaje, para los concretos evaluados, mostrando el CM valores superiores respecto al CC.

Se puede observar que el CM con menor sustitución absorbe en mayor medida que los de mayor sustitución. A pesar de la mayor porosidad del CM con mayor sustitución presenta menor absorción posiblemente por la composición vítrea de la escoria.

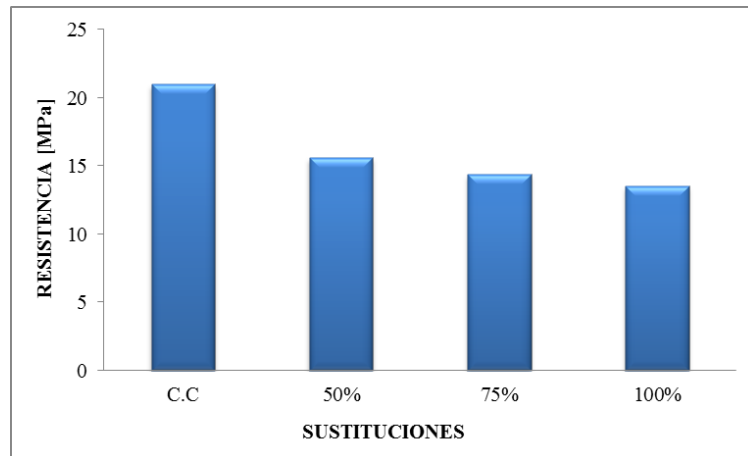
Figura 7. Porcentaje de absorción, según el porcentaje de sustitución.



Fuente: elaboración Propia

La de resistencia a la compresión del concreto modificado a 28 días de curado se muestra en la Figura 8, donde se observa una disminución en la resistencia a compresión del CM con el aumento en la sustitución del agregado grueso por escoria granulada, muy diferente a lo mostrado por el CC.

Figura 8. Resistencia a la compresión del CM según el porcentaje de sustitución.

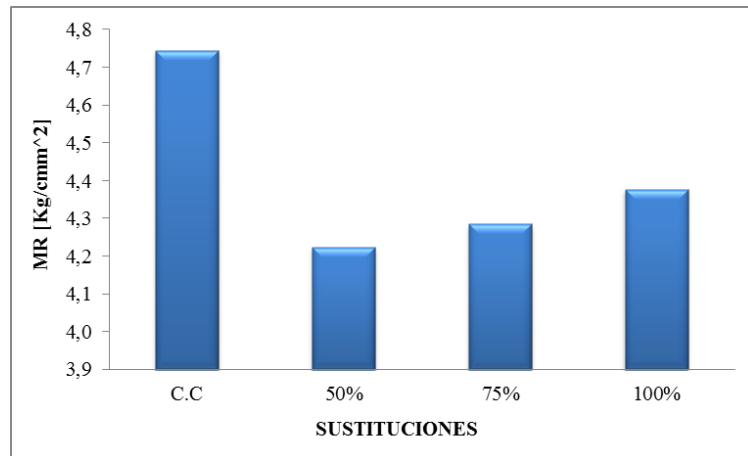


Fuente: elaboración Propia

Las sustituciones de 50%, 75 % y 100% de agregado grueso presentaron solo el 74.38%, 68.52% y 64.48% de la resistencia de diseño respectivamente.

Los resultados obtenidos en la prueba de laboratorio para módulo de rotura, arrojan resultados indiscutibles y poco favorables en las proporciones apropiadas de los materiales que componen el concreto modificado, ya que los especímenes no alcanzaron la resistencia la flexión.

Figura 9. Resistencia a la flexión del CM según el Porcentaje de sustitución.



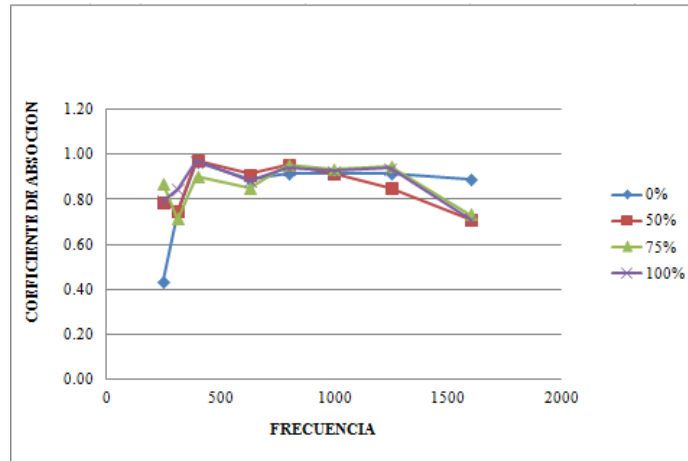
Fuente: elaboración Propia

La Figura 9 manifiesta una tendencia de incremento en el módulo de rotura a medida que aumenta el porcentaje de sustitución, tal vez se debe al incremento de agregados de textura rugosa.

Los valores de la resistencia a la flexión varían entre 4,3 Kg/cm² y 4,7 Kg/cm² los cuales son inferiores al 11 y 23% de la resistencia a la compresión que generalmente representa el módulo de rotura en las vigas.

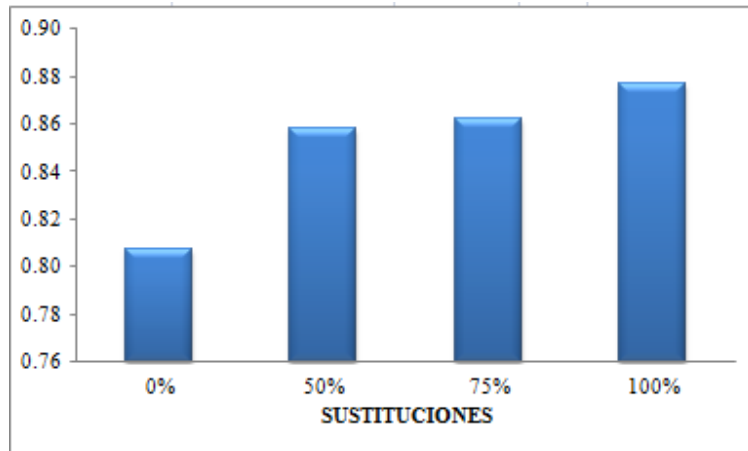
El coeficiente de absorción acústica y el índice de reducción de ruido NRC del CM, se determinó con un análisis detallado, tomando medidas de amplitud de onda mediante intervalos de desplazamiento cada 5 cm del micrófono móvil para frecuencias de 250, 350, 400, 630, 800, 1000, 1250, 1600 medidas en Hertz en cada una de las sustituciones de los especímenes con CM. A continuación se presentan los resultados contenidos a partir de la síntesis de los datos registrados.

Figura 10. Coeficiente de absorción del sonido a diferentes frecuencias.



Fuente: elaboración Propia

Figura 11. Índice de reducción de sonido NRC para diferentes sustituciones.



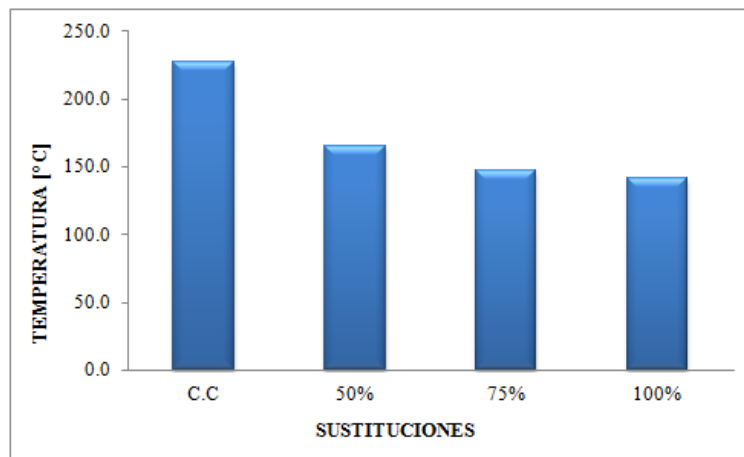
Fuente: elaboración Propia

Las gráficas 10 y 11 muestran que la escoria de horno de cubilote como agregado grueso favorece a la absorción acústica del concreto, ya que los mayores valores de absorción acústica corresponden a los porcentajes de sustitución del CM.

El ensayo de fuego se comparó mediante la curva característica establecida en la norma ISO 384.

En el análisis se consideró la temperatura que pasa a la parte posterior de la probeta, medida con la termocupla 2, mediante la aplicación de fuego directo en la parte frontal y la diferencia de masa, antes y después del fuego. La prueba se realizó para las diferentes sustituciones.

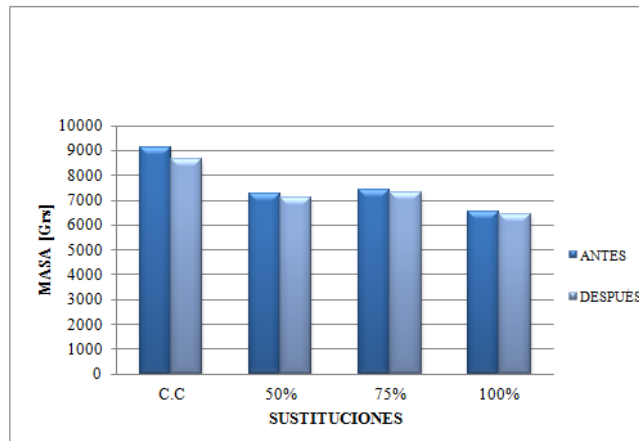
Figura 12. Temperaturas internas de las probetas mediante la aplicación de fuego a diferentes temperaturas.



Fuente: elaboración Propia

La anterior grafica refleja una disminución de temperatura en la medida que aumenta la sustitución del agregado grueso por EHC granulada debido que el CM está compuesto por agregado liviano EHC esto se debe a que las partículas de agregado ligero son manufacturadas por un proceso que involucra altas temperaturas. Sin embargo la diferencia no es tan considerable con relación a la del concreto control.

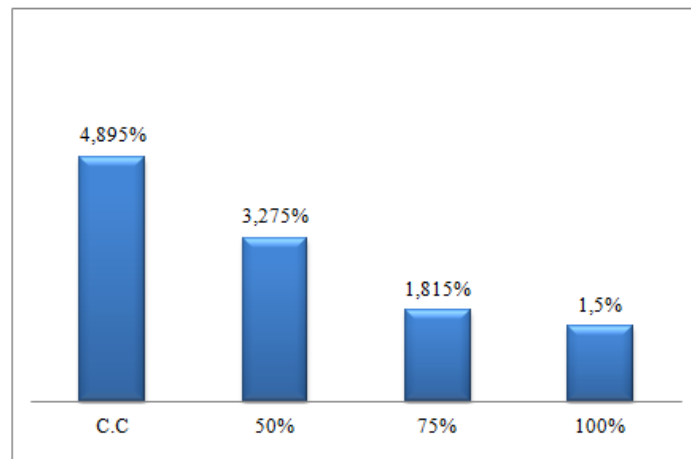
Figura 13. Masa de las muestras de CM antes y después de la aplicación del fuego.



Fuente: elaboración Propia

La Figura 13 manifiesta la masa de las probetas antes y después de la aplicación de fuego directo. El comportamiento en las tres sustituciones es un poco similar, siendo notorio que el concreto control tenga mayor diferencia en la disminución de su masa.

Figura 14. Porcentaje de pérdida en masa.



Fuente: elaboración Propia

Con relación a la Figura 14, la gráfica perteneciente a los porcentajes de pérdida en masa complementa la información obtenida, dando a conocer que el concreto control es la que más masa pierde mediante la aplicación del fuego.

4. APLICACIONES DEL CONCRETO OBTENIDO

Por medio de la investigación realizada, se establece con el concreto obtenido una ficha de elementos para la construcción, donde se analiza si es aplicable o no, teniendo en cuenta las principales especificaciones técnicas.

Tabla 4. Aplicaciones Del Concreto Obtenido

Elementos	Especificaciones técnicas	Funciona
Adoquines	Peso unitario: Mayor a 2200 Kg/ m ³ . Resistencia a la compresión: 35-45 MPa Absorción: 7-8% NCR: 0.45-0.9 Densidad: 128-400 Kg/m ³	No aplica
Bloques y ladrillos de mampostería.	Resistencia a la compresión: 8-13 MPa Densidad: 1680- 2000 Kg/m ³ Absorción: 15-18% de la densidad del concreto. Resistencia al fuego: 10 cm de espesor equivalente, 2 horas de resistencia al fuego.	Si aplica
Paneles Absorbentes	Densidad: 128-400 Kg/m ³ Resistencia a la compresión: 10 MPa NCR: 0.45-0.9 Resistencia al fuego:	Si aplica
Losetas o tabletas	Aislamiento acústico: 0.45-0.9. Densidad: 128-400 Kg/m ³	Si aplica
Muro Estructural	Resistencia a la compresión: 24 MPa o mas NCR: 0.02 Absorción: 20% de la densidad del concreto	No aplica
Vigas	Resistencia a la compresión: 21 MPa NCR: 0.02 Absorción: 20% de la densidad del concreto.	No aplica
Viguetas	Resistencia a la compresión: 20 Mpa Absorción: 20% de la densidad del concreto	No aplica

Fuente: elaboración Propia

5. CONCLUSIONES

La escoria de horno de cubilote es un material ligero, vítreo y poroso que se puede usar como sustituto del agregado grueso en la realización de concreto modificado, obteniendo bajo peso a medida que aumenta el porcentaje de sustitución.

La escoria de horno de cubilote la componen principalmente elementos de silicio y calcio que están igualmente presentes en el cemento, y por lo tanto estarán también presentes en un concreto convencional. Estos elementos no influyen cualitativamente en la conformación de las fases principales del material compuesto. La escoria fina tiene una densidad aparente de 2,35 gr/cm³ cercana a la arena, la cual está ubicada en el rango de aceptación para agregados finos. La EHC granulada presenta bajo peso específico debido a su composición y porosidad.

Por medio de las propiedades físicas de la materia prima, se obtuvo un diseño de mezcla apropiado al cual se le realizó el ensayo de masa unitaria y comprobar que el CM es aligerado. Con el aumento del porcentaje de sustitución, la manejabilidad del CM disminuye debido a la gran cantidad de líquido absorbido. Tanta absorción requiere mayor agua para el fraguado, lo cual puede afectar significativamente las propiedades físico-mecánicas del CM con el aumento de la sustitución.

El ensayo de masa unitaria aplicado al CM en estado fresco, se estableció que el concreto se clasifica como concreto normal para las sustituciones de escoria granulada en 0% y 50% y como concreto ligero para los remplazos de 75% y 100%.

Los resultados obtenidos del ensayo de densidad en el CM en estado endurecido evidencia que a mayor sustitución de escoria granulada, el material es menos

denso, que pudo ser originado por su bajo peso y la temperatura del horno de procedencia.

De acuerdo al ensayo de absorción se puede concluir que el CM con menor sustitución presenta mayor absorción en comparación con los de mayor porcentaje de sustitución de escoria granulada, lo cual puede deberse a la composición vítrea que rechaza la humedad.

Del ensayo a compresión realizado al CM, se puede concluir que al aumentar el porcentaje de sustitución de agregado grueso por escoria granulada, la resistencia disminuye, lo cual pudo ser ocasionado por la porosidad de la EHC, la actividad puzzolánica, el grado de vitrificación y la fragilidad del material de reemplazo.

En el ensayo a Flexión, mediante la aplicación de una fuerza central en las vigas ensayas, presentaron menor módulo de rotura a medida que disminuye el porcentaje de sustitución. Los valores obtenidos de la resistencia a la flexión son inferiores al rango porcentual de la resistencia a la compresión que generalmente presenta el módulo de rotura en las vigas.

Los resultados del ensayo de Absorción del sonido manifiestan un comportamiento positivo con el aumento de sustitución de agregado grueso por EHC granulada en el CM, ya que al determinar el índice de reducción de ruido en base a los coeficientes de absorción, se encuentran dentro del rango de reducción acústica de algunos elementos de construcción.

La temperatura interna en los especímenes del CM disminuye con el aumento de sustitución, tal vez causada por las características del agregado liviano, debido que es el resultado de un proceso de fundición del hierro que involucra altas temperaturas. La diferencia de masa, antes y después de la aplicación de fuego fue parecida en las tres sustituciones de escoria granulada 50%, 75% y 100%, a diferencia del concreto control, el cual obtuvo un porcentaje de pérdida en masa mayor.

Las diferentes sustituciones presentaron comportamientos diferentes frente a cada uno de los ensayos aplicados al CM, las sustituciones entre el 75% y el 100% proyectaron un resultado óptimo para la obtención de concreto aligerado. Para el porcentaje del 100% de EHC en el concreto, se mostró con resultados favorables para los ensayo de Absorción, Modulo de Rotura, Absorción del Sonido y resistencia al fuego pero en el ensayo de compresión obtuvo menor resistencia. El concreto aligerado se puede establecer para elementos no estructurales de baja resistencia.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI COMMITTEE 211. “Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal Weight Concrete”, Michigan, Farmington Hills, 1998. [15]
- Asocreto, “Tecnología del Concreto, Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas”, Santa Fe de Bogotá, Colombia, Nomos impresores, 2010. [16]
- ASTM C-384. Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by Impedance Tube Method. American Society for Testing and Materials. (2004) [27]
- CANO, Jesús et al. Cómputo para el diseño de mezcla de concreto normal. [Documento electrónico]. México D.F. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2003 <http://www.imcyc.com/cyt/noviembre03/computo.htm> (Citado el 27 de noviembre de 2012) [17]
- CASTAÑEDA, Jaime y GONZÁLES Álvaro. Medición del coeficiente de absorción del sonido. En: Scientia et Technica Año X, No 25, Agosto (2004). Universidad TECNOLÓGICA DE PEREIRA. ISSN. [26]
- Etxeberria M, Pacheco C, Meneses J.M y I. Berridi, “Properties of concrete using metallurgical industrial by-products as aggregates, construction and building materials”, pp. 1594–1600, 2010. [1]
- El concreto en la práctica: Adicciones al cemento [Documento electrónico]. (Enero 1998) Estados Unidos < http://www.gccusa.com/cip/CIP_30_ES.pdf > (Citado 27 de noviembre 2012) [3]
- Hormigones livianos [Documento electrónico] <http://www.icpa.org.ar/publico/files/hormliv2.pdf> (citado el 20 febrero 2013) [19]
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación NTC 221, “Ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico”, Colombia, 1999. [6]
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación NTC 77, “Ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos”, Colombia, 2007. [7]

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación NTC 127, “Ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto”, Colombia, 2000. [8]
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación NTC 92, “Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partícula de agregados” Colombia, 1995. [9]
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación NTC 176, “Ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso”, Colombia, 1995. [10]
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación NTC 3674, “practica para la reducción del tamaño de las muestras de agregados, tomadas en campo, para la realización de ensayos, Método B-cuarteo” Colombia, 1995. [11]
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación NTC 237, “Ensayo para determinar la densidad y absorción del agregado fino”, Colombia, 1995. [12]
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación NTC 1495, “Ensayo para determinar el contenido de humedad de suelos y rocas, con base en la masa”, Colombia, 2001. [13]
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, “Conceptos Básicos del Concreto: Pruebas del Concreto”, [Documento electrónico]. México D.F., Agosto. 2004 <http://www.imcyc.com/cyt/agosto04/CONCEPTOS.pdf> (Citado el 18 de noviembre de 2012)
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación NTC 1926, “Ensayo para determinar la masa unitaria, el rendimiento y el contenido de aire por gravimetría del concreto”, Colombia, 2007. [20]
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación NTC 4992- 6.3, “Ensayo para determinar absorción de agua y densidad”, Colombia, 2004. [21]

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación NTC 1377, “Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio”, Colombia, 1994. [22]
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación NTC 673, “Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto”, Colombia, 2010. [23]
- Instituto Nacional de Vías I.N.V.E-402-07, “Elaboración y curado en el laboratorio de muestras de concreto para ensayos de compresión y flexión”, Colombia. [24]
- Instituto Nacional de Vías I.N.V.E-415-07, “Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simplemente cargada en el punto central”, Colombia. [25]
- L. Amaral de Lima, “Hormigones con escorias de horno eléctrico como áridos: Propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental”, Ph.D. thesis, Barcelona España, Universidad Politécnica de Cataluña, 265 p, 1999. [5]
- OSUNA, Juan et al. Reciclado de escoria de alto horno para la producción de loseta vitrocerámica. U.A de C. Facultad de Ciencias Químicas, Depto. Cerámica. México. 2009 [14]
- Reciclaje de escoria granulada de fundición como sustitución de parte de cemento en hormigón. [Documento electrónico]. (Enero 2008) Río de Janeiro http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762009000100008 (Citado 18 noviembre 2012) [18]
- RODRÍGUEZ, Marcelo et al. Medida del coeficiente de absorción acústica. Estimación de la velocidad del sonido en el aire. Universidad de SEVILLA [Documento electrónico] <http://huespedes.cica.es/huespedes/dfa/acu/MedidadeCoeficientesdeAbsorcio_03_04.pdf> (Citado el 15 de febrero 2013) [28]
- T. Naik. “Greener concrete using recycled materials”, Concrete International, vol. 24, no. 7, pp. 45-49, Julio 2002. [2]

ANEXOS

ANEXO A. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

A1. DENSIDAD DEL CEMENTO

DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRAULICO (CEMEX T-1)		
Peso de la muestra de cemento	64	grs
Volumen inicial (Vo)	0.55	ml
Volmuen final (Vf)	22.2	ml
Volumen (V=Vf-Vo)	21.65	ml
Peso específico (Pe=W/V)	29.561	g/ml

MEDIDA DE VOLUMEN EN EL FRASCO DE LE CHATELIER	
t(min)	V(ml)
0	0.7
3	0.65
6	0.6
9	0.58
12	0.55
15	0.55

MEDIDA DE VOLUMEN CON EL CEMENTO	
t(min)	V(ml)
0	22.3
3	22.2
6	22.2
9	22.2

A1.1 Tiempos de fraguado de la pasta de cemento


TIEMPO DE FRAGUADO - ICONTEC 109-118			
VICAT		GILLMORE	
Hora de Inicio	Penetración[mm]	Hora de Inicio	Penetración [mm]
12:10		12:10	
12:40	39	12:40	Si Penetro
12:55	39	12:55	Si Penetro
01:10	39	01:10	Si Penetro
01:25	39	01:25	Si Penetro
01:40	39	01:40	Si Penetro
01:55	39	01:55	Si Penetro
02:10	39	02:10	Si Penetro
02:25	38	02:25	No Penetro
02:40	37	02:40	Si Penetro
02:55	32	02:55	Si Penetro
03:10	26	03:10	Si Penetro
03:25	18	03:25	Si Penetro
03:40	15	03:40	Si Penetro
03:55	4	03:55	Si Penetro
04:10	1	04:10	Si Penetro
04:25	1	04:25	Si Penetro
04:40	1	04:40	Si Penetro
04:55	0,5	04:55	Si Penetro
05:10	0,5	05:10	Si Penetro
05:25	0,5	05:25	Si Penetro

Cambio de pesa en Gillmore

NOTA: SE TRABAJO CON UN 34% DE AGUA Y CON 500 GRAMOS DE CEMENTO TIPO I

A2. CALIDAD FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA PROMEDIO MENSUAL DEL AGUA TRATADA RED DE DISTRIBUCIÓN

Las impurezas pueden interferir con el fraguado del cemento, afectar adversamente la resistencia del concreto o causar manchas en su superficie y provocar, además, la corrosión de los aceros de refuerzo. Con el objeto de evaluar la calidad del agua para la producción de concreto, se deben efectuar ensayos que permitan verificar que no se modifican ni el tiempo de fraguado ni la resistencia.

No Aplica	CALIDAD FISICOQUIMICA Y MICROBIOLÓGICA PROMEDIO MENSUAL DEL AGUA TRATADA RED DE DISTRIBUCION	
F CC 507-006		
Rev.:0		
LABORATORIO DE CONTROL CALIDAD AGUAS		

MUNICIPIO:	BUCARAMANGA	AÑO:	2013
------------	-------------	------	------

PARAMETROS MES	Parámetros Físicoquímicos													Parámetros Microbiológicos				Σ IRCA MENSUAL		
	No. Muestras Físicoquímicas	Cloro residual mg Cl ₂ /L	Turbiedad UNT	Color aparente Unidades Pt-Co	pH	Unidades de pH	olor y Sabor 0: Aceptable 1: No Aceptable	Aluminio mg Al/L	Alcalinidad mg CaCO ₃ /L	Dureza mg CaCO ₃ /L	Cloruros mg Cl/L	Sulfatos mg SO ₄ /L	Hierro mg Fe/L	Nitratos mg NO ₃ /L	Nitritos mg NO ₂ /L	No. de Muestras Microbiológicas	Muestras Positivas Coliformes Totales		% Aceptabilidad Coliformes Totales	Muestras positivas E. Coli
Enero	90	0,95	0,84	4,5	7,50	0	0,04	57,9	77,3	4,2	29,3	N.D.	1,2	N.D.	180	0	100	0	100	0,13
Febrero	84	0,91	1,39	8,0	7,28	0	0,07	43,8	64,2	3,8	22,4	0,14	1,5	N.D.	168	0	100	0	100	1,36
Marzo	90	0,97	1,15	6,5	7,36	0	0,07	51,7	71,7	4,1	29,1	0,19	1,1	N.D.	180	0	100	0	100	0,73
Abril	87	0,92	1,21	5,6	7,30	0	0,05	56,8	88,3	5,8	43,1	N.D.	1,0	N.D.	174	0	100	0	100	0,49
Mayo	93	0,92	1,61	8,1	7,15	0	0,08	43,3	61,3	2,8	25,7	N.D.	1,2	N.D.	186	0	100	0	100	1,31
Junio	91	0,90	0,99	5,9	7,46	0	0,05	52,5	66,3	3,8	25,3	N.D.	1,2	N.D.	180	0	100	0	100	0,56
Julio	93	0,94	0,81	4,5	7,56	0	0,03	57,6	78,7	5,1	33,8	N.D.	1,0	N.D.	186	0	100	0	100	0,14
Agosto	93	0,90	0,78	4,1	7,38	0	0,05	51,5	75,5	4,0	32,2	N.D.	1,0	N.D.	186	0	100	0	100	0,28
PROMEDIO	90	0,93	1,10	5,9	7,37	0	0,06	51,9	72,9	4,2	30,1	N.D.	1,2	N.D.	180	0,0	100	0,0	100	0,63
RES. 2115/07	3/día	0,3-2,0	≤2	≤15	6,5-9,0	ACEP	0,2	200	300	250	250	0,3	10	0,1	6/día	0	100	0	100	0-5

Convenciones:	mg/L: miligramos por litro UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad Unidades Pt-Co: Unidades de Platino Cobalto IRCA: Índice de Riesgo de Calidad del Agua ND: No Detectable
Nota:	El IRCA promedio, determinado en este periodo con los parámetros ensayados y establecidos en la Resolución 2115 de 2007, clasifica el agua "sin riesgo" y "apta para el consumo humano"

A3. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

Los agregados son el mayor constituyente del concreto. De tal forma se determinan las siguientes propiedades a los agregados finos y gruesos.

- Gravedades específicas
- Pesos unitarios
- Porcentajes de absorción
- Porcentajes de vacíos

AGREGADO GRUESO

PROCEDENCIA: Pescadero

MATERIAL: Grava

GRAVEDADES ESPECÍFICAS

A=	Peso de la muestra en condición S.S.S. , en el aire	5000	Gramos
Pa=	Peso de la canasta, sumergida en agua	1810	Gramos
Pb=	Peso de la canasta + muestra S.S.S. , sumergida en agua	4925	Gramos
B=	Peso de la muestra en agua= Pb-Pa	3115	Gramos
C=	Peso de la muestra seca en el horno	4945,8	Gramos

CÁLCULOS:

Gravedad específica real	$C/(C-B)$	2,701	Adimensional
Gravedad específica aparente.....	$C/(A-B)$	2,624	Adimensional
Gravedad específica aparente S.S.S.	$A/(A-B)$	2,653	Adimensional (D)**

PESO UNITARIO

CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR:

P1=	Peso del medidor + vidrio.....	3045,3	Gramos
P2=	Peso del medidor + vidrio + agua	5872	Gramos
V=	Volumen del medidor	$(P2-P1)/1000$	dm ³

DATOS:

Pm=	Peso del medidor Vacío	2557,6	Gramos	
Pc=	medidor + material S.S.S. compactado	7020	Gramos	
Ps=	Peso del medidor + material S.S.S. suelto	6634	Gramos	
Peso unitario del agregado S.S.S. compactado		$(Pc-Pm)/V$	1578,66	Ka/m ³ (E**)
Peso unitario del agregado S.S.S. suelto		$(Ps-Pm)/V$	1442,11	Ka/m ³

% de Absorción	$((A-C)*100)/C$	1,096	%
% de Vacíos	$(D*1000-E)/(D*10)$	40,56	%

% DE HUMEDAD

Peso de la tara (Wt)	300	grs
Peso de la muestra húmeda (Wmh).....	1000	grs
Peso de la tara + Peso muestra húmeda (Wt + Wmh)	1300	grs
Peso de la tara + Peso muestra seca al horno (Wt + Wms)	1297	grs

% de humedad	$H=100*((Wt+Wmh)-(Wt+Wms))/(Wt+Wms)-Wt)$	0,3	%
--------------	--	-----	---

AGREGADO FINO

PROCEDENCIA: Pescadero

MATERIAL: Arena

GRAVEDADES ESPECÍFICAS

A=	Peso del frasco + Agua hasta la marca, en el aire	666	Gramos
B=	Peso de la muestra en condición S.S.S. , en el aire	500	Gramos
C=	Peso de la muestra. Frasco y agua agregada hasta la marca, en el aire	975,2	Gramos
D	Peso de la muestra seca en el horno	492,7	Gramos

CÁLCULOS:

Gravedad específica real	$D/(A-C+D)$	0,748	Adimensional
Gravedad específica aparente.....	$D/(A+B-C)$	2,582	Adimensional
Gravedad específica aparente S.S.S.	$B/(A+B-C)$	2,621	Adimensional (E)**

PESO UNITARIO

CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR:

P1=	Peso del medidor + vidrio.....	3045,3	Gramos
P2=	Peso del medidor + vidrio + agua	5872	Gramos
V=	Volumen del medidor	$(P2-P1)/1000$	2,83 dcm ³

DATOS:

Pm=	Peso del medidor Vacío	2557,6	Gramos
Pc=	medidor + material S.S.S. compactado	7560	Gramos
Ps=	Peso del medidor + material S.S.S. suelto	7102	Gramos
Peso unitario del agregado S.S.S. compactado		$(Pc-Pm)/V$	1769,7 Ka/m ³
Peso unitario del agregado S.S.S. suelto		$(Ps-Pm)/V$	1607,67 Ka/m ³

% de Absorción	$(B-D)*100/C$	0,75	%
% de Vacíos	$(ED*1000-F)/E*10$	49,2	%

% DE HUMEDAD

Peso de la tara (Wt)	300	grs
Peso de la muestra húmeda (Wmh).....	1000	grs
Peso de la tara + Peso muestra húmeda (Wt + Wmh)	1300	grs
Peso de la tara + Peso muestra seca al horno (Wt + Wms)	1264	grs

% de humedad	$H=100*((Wt+Wmh)-(Wt+Wms))/((Wt+Wms)-Wt)$	3,73	%
--------------	---	------	---

AGREGADO FINO

PROCEDENCIA: Horno de cubilote

MATERIAL: Escoria

GRAVEDADES ESPECÍFICAS

A=	Peso del frasco + Agua hasta la marca, en el aire	654	Gramos
B=	Peso de la muestra en condición S.S.S. , en el aire	500	Gramos
C=	Peso de la muestra. Frasco y agua agregada hasta la marca, en el aire	943	Gramos
D	Peso de la muestra seca en el horno	495,8	Gramos

CÁLCULOS:

Gravedad específica real	$D/(A-C+D)$	2,4	Adimensional
Gravedad específica aparente	$D/(A+B-C)$	2,35	Adimensional
Gravedad específica aparente S.S.S.	$B/(A+B-C)$	2,37	Adimensional (E)**

PESO UNITARIO

CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR:

P1=	Peso del medidor + vidrio	3037	Gramos
P2=	Peso del medidor + vidrio + agua	5843	Gramos
V=	Volumen del medidor	$(P2-P1)/1000$	2,836 dcm ³

DATOS:

Pm=	Peso del medidor Vacío	2531	Gramos
Pc=	medidor + material S.S.S. compactado	7430	Gramos
Ps=	Peso del medidor + material S.S.S. suelto	6609	Gramos
Peso unitario del agregado S.S.S. compactado		$(Pc-Pm)/V$	1727,43 Ka/m ³
Peso unitario del agregado S.S.S. suelto		$(Ps-Pm)/V$	1437,94 Ka/m ³

% de Absorción	$(B-D)*100/C$	0,85	%
% de Vacíos	$(ED*1000-F)/E*10$	27,1	%

% DE HUMEDAD

Peso de la tara (Wt)	308,7	grs
Peso de la muestra húmeda (Wmh)	500	grs
Peso de la tara + Peso muestra húmeda (Wt + Wmh)	808,7	grs
Peso de la tara + Peso muestra seca al horno (Wt + Wms)	806	grs

% de humedad	$H=100*((Wt+Wmh)-(Wt+Wms))/((Wt+Wms)-Wt)$	0,54	%
--------------	---	------	---

AGREGADO GRUESO

PROCEDENCIA: Horno de cubilote

MATERIAL: Escoria Granulada

GRAVEDADES ESPECÍFICAS

A=	Peso de la muestra en condición S.S.S. , en el aire	2433	Gramos
Pa=	Peso de la canasta, sumergida en agua	1800	Gramos
Pb=	Peso de la canasta + muestra S.S.S. , sumergida en agua	1930	Gramos
B=	Peso de la muestra en agua= Pb-Pa	130	Gramos
C=	Peso de la muestra seca en el horno	2192,5	Gramos

CÁLCULOS:

Gravedad específica real	$C/(C-B)$	1,063	Adimensional
Gravedad específica aparente	$C/(A-B)$	0,952	Adimensional
Gravedad específica aparente S.S.S.	$A/(A-B)$	1,056	Adimensional (D)**

% de Absorción	$((A-C)*100)/C$	1,096	%
----------------------	-----------------	-------	---

A4. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

La granulometría es la composición en porcentaje, de los diversos tamaños de agregado en una muestra. Esta proporción se suele indicar, de mayor a menor tamaño, por una cifra que representa, en peso, el porcentaje parcial de cada tamaño que pasó o quedó retenido en los diferentes tamices que se usan obligatoriamente para tal medición.

La operación de tamizado, debe ejecutarse de acuerdo con la norma NTC 77 y ASTM C136 en la cual se describen el tamaño de la muestra a ensayarse y los procedimientos adecuados para realizar el análisis.

MATERIAL: ARENA				
TAMIZ	PESO RETENIDO (Grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
#4	80	8	8	92
#8	174	17,4	25,4	74,6
#16	183	18,3	43,7	56,3
#30	90	9	52,7	47,3
#50	305	30,5	83,2	16,8
#100	87	8,7	91,9	8,1
Fondo	80	8,1	100	
Total	999	100	Peso Muestra 1000 Grs	

MATERIAL: TRITURADO				
TAMIZ	PESO RETENIDO (Grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/4"	533	7,61	7,61	92,39
1/2"	4731	67,59	75,2	24,8
3/8"	1219	17,41	92,61	7,39
#4	482	6,89	99,5	0,5
		0,5	100	
Fondo		100		
Total	7000		Peso Muestra 7000 Grs	

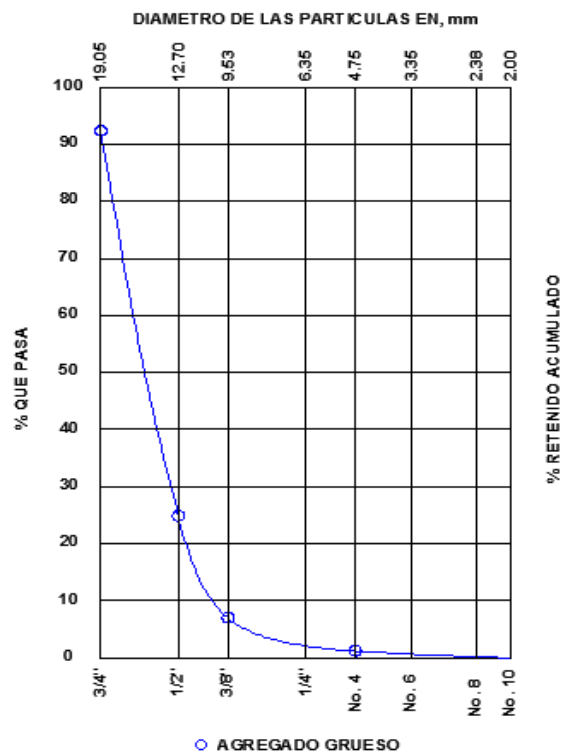
MATERIAL: ESCORIA TRITURADA				
TAMIZ	PESO RETENIDO (Grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
#4	32,2	3,23	3,23	96,77
#8	227,8	22,82	26,05	73,95
#16	351,4	35,21	61,26	38,74
#30	164,3	16,46	77,72	22,28
#50	32,4	3,25	80,96	19,04
#100	111,3	11,15	92,12	7,88
Fondo	78,7	7,88	100	0
Total	998,1	100	Peso Muestra 1000 Grs	

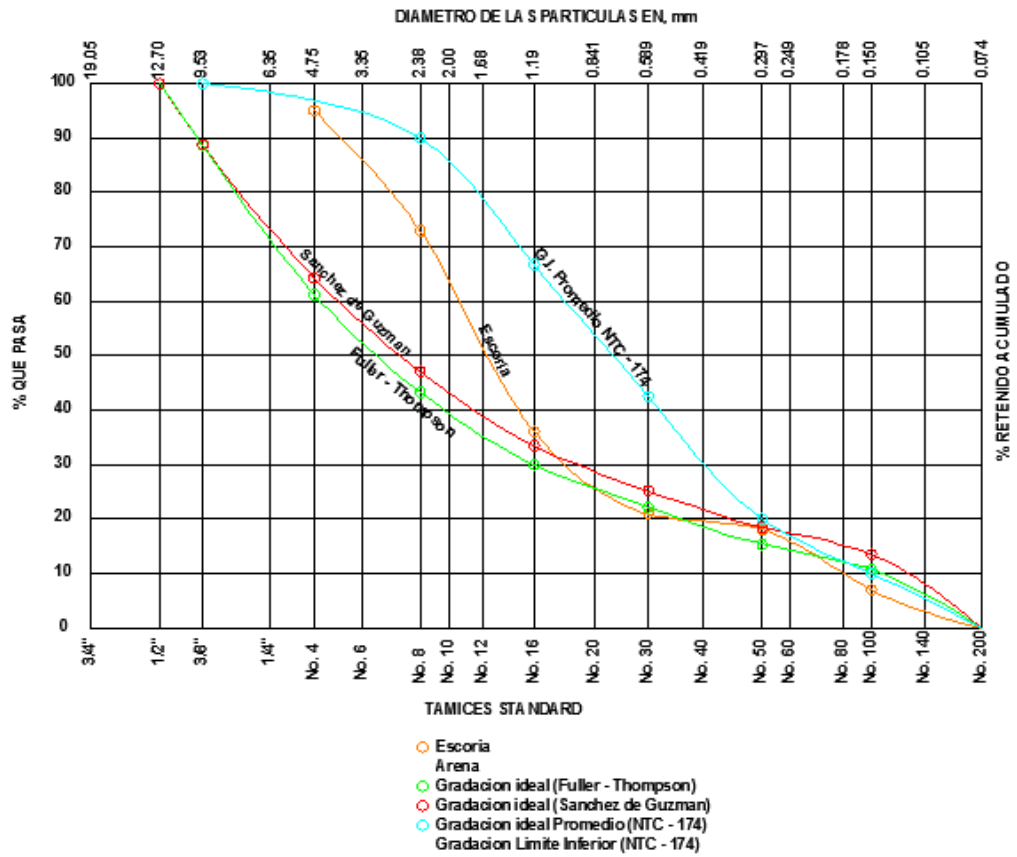
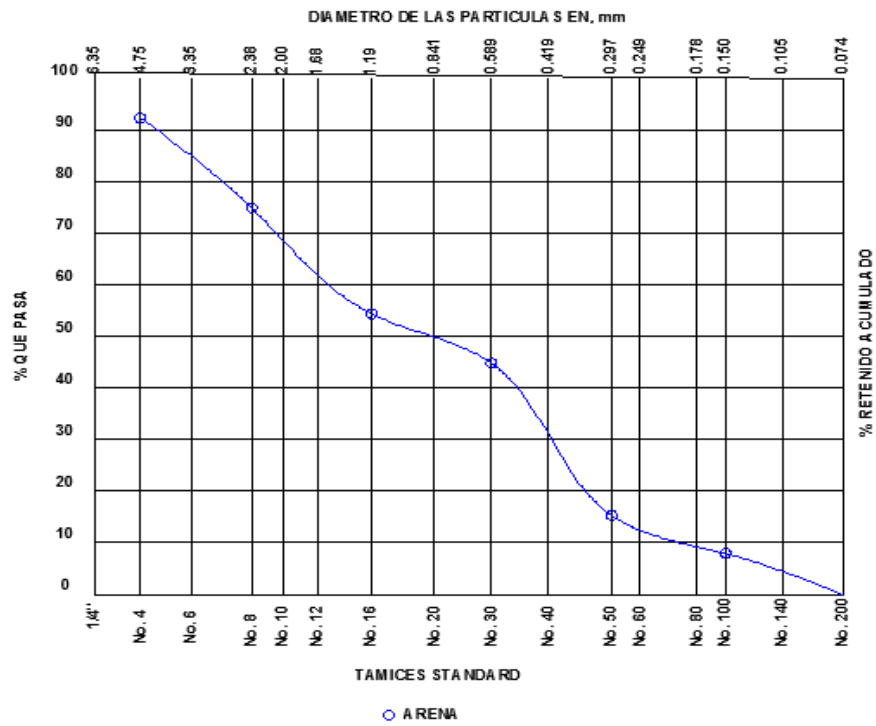
NOTA: La escoria granulada no tiene granulometría ya que se sustituyó con un tamaño de 3/8 de pulgada común en el concreto modificado.

A.4.1 Características propias en la granulometría de los agregados

<u>A. FINO</u>	
MÓDULO DE FINURA	3,05
CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA	0
<u>A. GRUESO</u>	
TAMAÑO MÁXIMO	1 Pulgada
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	3/4 Pulgada

A.4.2 Curvas granulométricas del material triturado, arena y escoria fina





Muchas son las investigaciones que se han desarrollado acerca de lo que es una buena granulometría de agregados para concreto. En la gráfica anterior se puede observar que la escoria fina tiene una distribución granulométrica similar a la de la arena, por tanto al sustituirla no altera el diseño de mezcla. A continuación, una tabla con las gradaciones ideales para agregados en porcentaje que pasa.

Gradaciones ideales para agregados en porcentaje que pasa				
Tamiz		Tamaño Máximo (1/2") - mm		
mm	Pulgadas	Fuller-Thompson	Sánchez de G.	NTC 174- Promedio
12,70	1/2	100	100	
9,51	3/8	87,20	87,90	100
4,76	No.4	61,20	64,30	97,50
2,38	No.8	43,30	47,10	90,00
1,19	No.16	30,60	34,50	67,50
0,60	No.30	21,60	25,20	42,50
0,30	No.50	15,30	18,50	20,00
0,15	No.100	10,80	13,50	6,00

ANEXO B. DISEÑO DE MEZCLA

B.1 CONCRETO CONTROL (Sin sustitución)

DATOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS MÉTODO ACI COMITÉ 211				
---	--	--	--	--

CONSTRUCCIONES EN MASAS VOLUMINOSAS. LOSAS MEDIANAMENTE REFORZADAS CON VIBRACIÓN FUNDACIÓN EN CONCRETO SIMPLE PAVIMENTOS CON VIBRADORES NORMALES				
		UNID		UNID
RESISTENCIA A LOS 28 DIAS	21000,00	PSI	145	Mpa
DENSIDAD CEMENTO	2956,10	Kg/m3	2,96	g/m3

AGREGADO GRUESO	TAMAÑO MAXIMO	25,40	mm	1	Pulg
	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	19,10	mm	0,751968504	Pulg
	MASA UNITARIA COMPACTA (MUC)	1578,66	Kg/m3		
	MASA UNITARIA SUELTA (MUS)	1442,11	Kg/m3		
	DENSIDAD APARENTE	2624,00	Kg/m3		
	ABSORCION	1,10	%	0,01096	
	HUMEDAD NATURAL	0,30	%	0,003	
	TEXTURA	Rugosa y forma redondeada			

AGREGADO FINO	MODULO DE FINURA (MF)	3,05			
	MASA UNITARIA COMPACTA (MUC)	1769,70	Kg/m3		
	MASA UNITARIA SUELTA (MUS)	1607,67	Kg/m3		
	DENSIDAD APARENTE	2582,00	Kg/m3		
	ABSORCION	0,75	%	0,0075	
	PORCENTAJE DE ARCILLA	0,00	%	0	
	ENSAYO COLORIMETRICO	cero contenido	-		
HUMEDAD NATURAL	3,73	%	0,0373		

ASENTAMIENTO	4	cm		
CONTENIDO DE AIRE	2	%	0,02	
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO	185	Lts	0,185	
REALACION (a/c)	0,52	Adim		
CONTENIDO DE CEMENTO (C)	355,769	Kg/m3	356,00	Lts
VOLUMEN DE CEMENTO POR m3 DE CONCRETO (Vc)	0,120	m3/m3		
CONTENIDO DE GRAVA (b/bo), CONOCIENDO EL MF Y TMN .	0,600	Adim		
bo' (DATOS DEL AGREGADO GRUESO)	0,602	Adim		
VOLUMEN DE GRAVA POR m3 (B)	0,361	m3/m3		
CONTENIDO DE ARENA (Va)	0,314	m3/m3		

PESO DE LOS MATERIALES				
DESCRIPCION	DENSIDAD	PESO	VOLUMEN	RELA
CEMENTO	2956,10	355,77	0,120	1
AIRE	0,00	0,00	0,020	
AGUA	1000,00	185,00	0,185	
GRAVA	2624,00	947,20	0,361	2,7
ARENA	2582,00	809,91	0,314	2,3
	TOTAL		1,000	

B.2 CONCRETO CON SUSTITUCIÓN 50%,75%,100% DE ESCORIA GRANULADA Y 30% ESCORIA FINA

DATOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS MÉTODO ACI COMITÉ 211

CONSTRUCCIONES EN MASAS VOLUMINOSAS. LOSAS MEDIANAMENTE REFORZADAS CON VIBRACIÓN FUNDACIÓN EN CONCRETO SIMPLE PAVIMENTOS CON VIBRADORES NORMALES

		UNID		UNID
RESISTENCIA A LOS 28 DIAS	21000,00	PSI	145	Mpa
DENSIDAD CEMENTO	2956,10	Kg/m ³	2,96	g/m ³

AGREGADO GRUESO	TAMAÑO MAXIMO	25,40	mm	1	Pulg
	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	19,10	mm	0,751968504	Pulg
	MASA UNITARIA COMPACTA (MUC)	1578,66	Kg/m ³		
	MASA UNITARIA SUELTA (MUS)	1442,11	Kg/m ³		
	DENSIDAD APARENTE	2624,00	Kg/m ³		
	ABSORCION	1,10	%	0,01096	
	HUMEDAD NATURAL	0,30	%	0,003	
	TEXTURA	Rugosa y forma redondeada			

AGREGADO FINO	MODULO DE FINURA (MF)	2,34			
	MASA UNITARIA COMPACTA (MUC)	1665,40	Kg/m ³		
	MASA UNITARIA SUELTA (MUS)	1401,80	Kg/m ³		
	DENSIDAD APARENTE	2534,00	Kg/m ³		
	ABSORCION	1,67	%	0,0167	
	PORCENTAJE DE ARCILLA	0,00	%	0	
	ENSA YO COLORIMETRICO	2,00	-		
	HUMEDAD NATURAL	0,77	%	0,0077	

ASENTAMIENTO	4	cm		
CONTENIDO DE AIRE	2	%	0,02	
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO	185	Lts	0,185	
REALACION (a/c)	0,52	A dim		
CONTENIDO DE CEMENTO (C)	355,769	Kg/m ³	356,00	Lts
VOLUMEN DE CEMENTO POR m ³ DE CONCRETO (Vc)	0,120	m ³ /m ³		
CONTENIDO DE GRA VA (b/bo), CONOCIENDO EL MF Y TMN .	0,600	A dim		
bo' (DATOS DEL AGREGADO GRUESO)	0,602	A dim		
VOLUMEN DE GRA VA POR m ³ (B)	0,361	m ³ /m ³		
CONTENIDO DE ARENA (Va)	0,314	m ³ /m ³		

PESO DE LOS MATERIALES				
DESCRIPCION	DENSIDAD	PESO	VOLUMEN	RELA
CEMENTO	2956,10	355,77	0,120	1
AIRE	0,00	0,00	0,020	
AGUA	1000,00	185,00	0,185	
GRA VA	2624,00	947,20	0,361	2,7
ARENA	2534,00	794,85	0,314	2,2
	TOTAL		1,000	

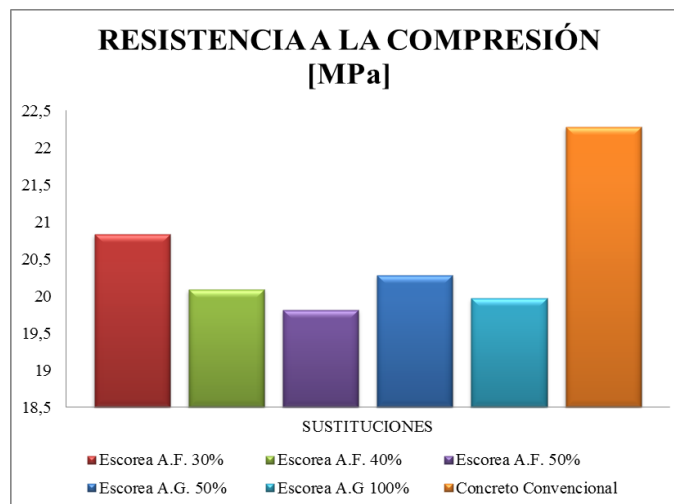
La sustitución del agregado grueso por escoria granulada se realiza por Volumen Total variando a diferentes porcentajes.

ANEXO C MEMORIAS DE ENSAYO DE COMPRESIÓN A LA RUPTURA DE MUESTRAS DE CONCRETO

C.1 ENSAYO PRELIMINAR DE COMPRESIÓN A LA RUPTURA DE MUESTRAS DE CONCRETO

FORMA DE PROBETA	CILINDRICA NORMAL	
AREA	0,008332	[m ²]
	0,8332	[cm ²]
TIEMPO	28	Días

	IDENTIFICACIÓN	RESISTENCIA ULTIMA	ESFUERZO	RESISTENCIA ULTIMA	RESISTENCIA
		Kg-f	Kg/cm ²	N	Mpa
C.C	Concreto convencional 1	19400	18482,96	190249,98	22,83
	Concreto convencional 2	18400	20883,34	180443,28	21,66
	Concreto convencional 3	19000	18843,02	186327,30	22,36
Sustitución de agregado fino	Sustitución escorea 30%	18200	21843,49	178481,94	21,42
	Sustitución escorea 30%	18000	21603,46	176520,60	21,19
	Sustitución escorea 30%	16900	20283,25	165733,23	19,89
	Sustitución escorea 40%	16300	19563,13	159849,21	19,18
	Sustitución escorea 40%	17300	20763,32	169655,91	20,36
	Sustitución escorea 40%	18100	21723,48	177501,27	21,30
	Sustitución escorea 50%	15500	18602,98	152003,85	18,24
	Sustitución escorea 50%	14600	17522,80	143177,82	17,18
	Sustitución escorea 50%	14800	17762,84	145139,16	17,42
Sustitución de agregado grueso	Sustitución escorea 50%	9500	11401,82	93163,65	11,18
	Sustitución escorea 50%	8600	10321,65	84337,62	10,12
	Sustitución escorea 50%	6900	8281,32	67666,23	8,12
	Sustitución escorea 100%	7300	8761,40	71588,91	8,59
	Sustitución escorea 100%	4500	5400,86	44130,15	5,30
	Sustitución escorea 100%	5000	6000,96	49033,50	5,88

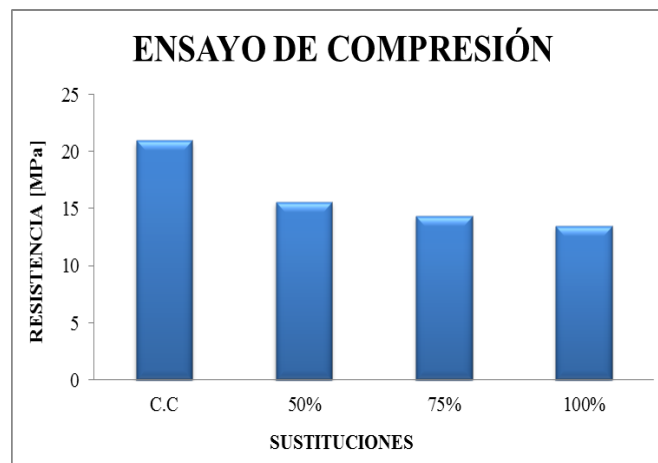


C.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN A LA RUPTURA DE MUESTRAS DE CONCRETO MODIFICADO

ENSAYO DE COMPRESIÓN	
NORMA	NTC 673
EDAD MUESTRA	28 Días

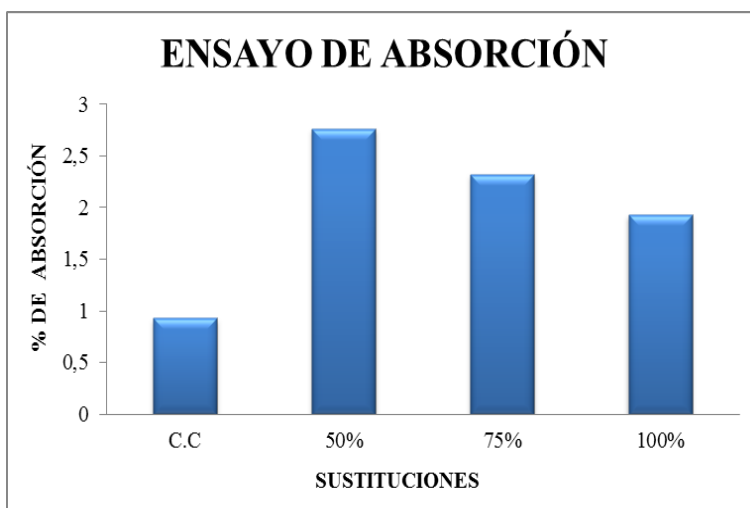
IDENTIFICACIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN [Mpa]
Concreto Control	21,05
Concreto Control	21
Concreto Control	21,2
Concreto Control	21,4
50% de sustitución	15,65
50% de sustitución	15,7
50% de sustitución	15,5
50% de sustitución	15,61
75% de sustitución	14,13
75% de sustitución	14,55
75% de sustitución	14,25
75% de sustitución	14,64
100% de sustitución	13,4
100% de sustitución	13,78
100% de sustitución	13,58
100% de sustitución	13,43

La gran mayoría de estructuras de concreto son diseñadas bajo la suposición de que este resiste únicamente esfuerzos de compresión, por consiguiente, para propósitos de diseño estructural, la resistencia a la compresión el criterio de calidad.



ANEXO D MEMORIAS DE ENSAYO DE ABSORCIÓN EN MUESTRAS DE CONCRETO

ENSAYO DE ABSORCIÓN SOBRE PROBETAS DE CONCRETO			
50% de sustitución de escoria granulada		75% de sustitución de escoria granulada	
Volumen inicial	11521,16 cm ³	Volumen inicial	10723,32 cm ³
Tiempo [min]	Volumen absorbido [cm ³]	Tiempo [min]	Volumen absorbido [cm ³]
30	11255,69	30	10523,82
60	11202,61	60	10473,94
90	11202,61	90	10473,94
120	11202,61	120	10473,94
% de Absorción	2,76	% de Absorción	2,33
100% de sustitución de escoria granulada		Concreto Control	
Volumen inicial	9206,34 cm ³	Volumen inicial	11414,98 cm ³
Tiempo [min]	Volumen absorbido [cm ³]	Tiempo [min]	Volumen absorbido [cm ³]
30	9087,55	30	11414,98
60	9087,55	60	11361,88
90	9028,15	90	11308,79
120	9028,15	120	11308,79
% de Absorción	1,94	% de Absorción	0,93



ANEXO E MEMORIAS DE ENSAYO DE DENSIDAD DEL MATERIAL ENDURECIDO

ENSAYO DE ABSORCIÓN EN PROBETAS DE CONCRETO

Ms=Masa seca [Grs]

Mh=Masa saturada superficialmente[Grs]

Ma=Masa inmersa en agua [Grs]

Densidad [Kg/m³]=[Ms/(Mh-Ma)]

50% de sustitución de escoria granulada		75% de sustitución de escoria granulada	
Ms	3438	Ms	3046
Mh	3589	Mh	3228
Ma	1856	Ma	1500
Densidad	1983,84	Densidad	1762,73
100% de sustitución de escoria granulada		Concreto Control	
Ms	2660	Ms	3948
Mh	2855	Mh	4116
Ma	1200	Ma	2393
Densidad	1607,25	Densidad	2291,35

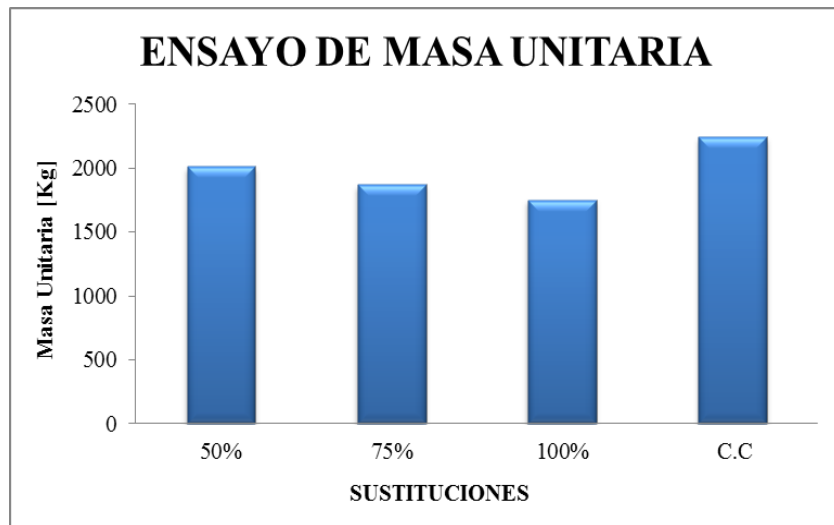
ANEXO F MEMORIAS DE ENSAYO DE MASA UNITARIA FRESCA

La masa unitaria del concreto fresco y del endurecido depende del tamaño máximo, granulometría y densidad de los agregados, así como también de la cantidad de aire atrapado e incorporado y del contenido de agua y cemento.

La densidad y cantidad de cada agregado afecta la masa unitaria del concreto en estado fresco. Cuando estos son de muy alta porosidad, la masa unitaria del concreto puede variar dependiendo del grado de saturación de los agregados antes de la mezcla.

En el concreto de masa normal, se mide mediante el ensayo de rendimiento volumétrico, que consiste en determinar la masa requerida para llena un molde de volumen conocido.

ENSAYO DE MASA UNITARIA	
$D(Kg) = [Mc - Mm] / Vm$	
Mc= masa del recipiente lleno con concreto Mm=masa del recipiente Vm=volumen del recipiente	
PESO DE MOLDES	0,178
	0,174
	0,175
PROMEDIO Mm	0,176
Volumen Vm	0,001749 [m ³]
D(Kg) 50%	2013,48
D(Kg) 75%	1869,87
D(Kg) 100%	1752,62
D(Kg) C.C	2242,33
	Mc
Sustitución de 50%	3,721
	3,626
	3,732
	3,710
Promedio	3,697
Sustitución de 75%	3,468
	3,392
	3,479
	3,446
Promedio	3,446
Sustitución de 100%	3,201
	3,237
	3,286
	3,240
Promedio	3,241
Concreto Control	4,088
	4,105
	4,097
	4,100
Promedio	4,098



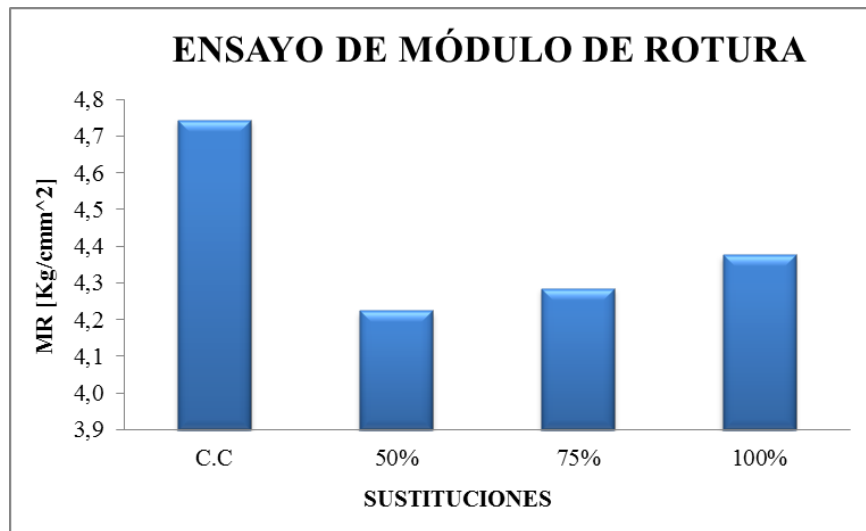
ANEXO G MEMORIAS DE ENSAYO DE MÓDULO DE ROTURA EN MUESTRAS DE CONCRETO

Según la I.N.V.E-415-07(6.0), la ecuación utilizada para el cálculo del módulo de rotura fue la siguiente:

$$MR = \frac{3PL}{2bd^2}$$

En la determinación del MR, las variables mostradas son; P es la carga aplicada en N, L es la longitud de la luz dada en mm, b es el ancho promedio del espécimen en el punto de fractura en mm y d es la altura promedio del espécimen en el punto de fractura en mm. Los valores obtenidos para el módulo de rotura, según la norma, tiene unidades lb/pul² (psi), los resultados se expresan en Kg/cm².

ENSAYO DE MÓDULO DE ROTURA		
L [mm]= 210		$MR = \frac{3PL}{2bd^2}$
b [mm]= 70		
d [mm]= 70		
SUSTITUCIÓN	CARGA P [N]	MÓDULO DE ROTURA [Kg/cm ²]
Concreto Control	5100	4,684
Concreto Control	5200	4,776
Concreto Control	5200	4,776
50%	4400	4,041
50%	5100	4,684
50%	4300	3,949
75%	4200	3,857
75%	4400	4,041
75%	5400	4,959
100%	4900	4,500
100%	4500	4,133
100%	4900	4,500



ANEXO H MEMORIAS DE ENSAYO DE ABSORCIÓN DEL SONIDO EN MUESTRAS DE CONCRETO

Los siguientes datos fueron tomados en el laboratorio con intervalos de 5 cm para cada sustitución de escoria granulada en diferentes frecuencias, con el fin de determinar la absorción del sonido en el concreto modificado.

Se trabajaron frecuencias [Hz] de 250, 350, 400, 630, 800, 1000, 1250 y 1600.

Se realizaron los respectivos cálculos para obtener los coeficientes de absorción del sonido a diferentes frecuencias y los índices de reducción del sonido.

CONCRETO CONTROL

frecuencia= 250					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	16	0	13	0	16
5	15	5	14	5	14
10	5	10	14	10	16
15	14	15	9	15	10
20	20	20	15	20	20
25	17	25	17	25	18
30	15	30	13	30	16
35	15	35	12	35	15
40	12	40	12	40	14
45	16	45	13	45	14
50	16	50	13	50	16
55	15	55	16	55	16
60	16	60	20	60	18
65	15	65	14	65	16
70	16	70	14	70	17
75	13	75	16	75	14
80	15	80	15	80	17
85	18	85	18	85	18
90	19	90	16	90	20
95	13	95	17	95	20
100	20	100	20	100	16
Max	20	Max	20	Max	20
Min	5	Min	9	Min	10

Prom SWR=	2,741
Prom SWR+1=	3,741
Prom SWR-1=	1,741
Prom α =	0,438
Prom α =	0,795
Des. Est. α =	0,135

frecuencia= 350					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	12	0	13	0	14
5	14	5	15	5	16
10	14	10	14	10	30
15	11	15	11	15	12
20	14	20	12	20	10
25	18	25	13	25	12
30	12	30	10	30	14
35	15	35	14	35	16
40	18	40	15	40	18
45	17	45	8	45	18
50	10	50	20	50	10
55	12	55	12	55	14
60	14	60	15	60	16
65	15	65	13	65	16
70	15	70	10	70	22
75	10	75	10	75	8
80	10	80	15	80	10
85	8	85	15	85	8
90	24	90	17	90	22
95	15	95	16	95	16
100	10	100	15	100	16
Max	24	Max	20	Max	30
Min	8	Min	8	Min	8

Prom SWR=	3,083
Prom SWR+1=	4,083
Prom SWR-1=	2,083
Prom α =	0,503
Prom α =	0,744
Des. Est. α =	0,076

frecuencia= 400					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	40	0	36	0	40
5	36	5	36	5	40
10	32	10	40	10	40
15	44	15	48	15	40
20	40	20	44	20	32
25	40	25	36	25	44
30	36	30	40	30	44
35	36	35	40	35	48
40	32	40	40	40	40
45	44	45	40	45	40
50	36	50	44	50	44
55	36	55	48	55	48
60	36	60	40	60	40
65	44	65	44	65	48
70	46	70	44	70	44
75	40	75	44	75	48
80	36	80	36	80	44
85	36	85	44	85	40
90	36	90	40	90	40
95	40	95	36	95	44
100	36	100	36	100	40
Max	46	Max	48	Max	48
Min	32	Min	36	Min	32

Prom SWR=	1,424
Prom SWR+1=	2,424
Prom SWR-1=	0,424
Prom α =	0,174
Prom α =	0,969
Des. Est. α =	0,010

frecuencia= 630					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	28	0	20	0	36
5	24	5	18	5	24
10	20	10	18	10	24
15	28	15	16	15	24
20	24	20	20	20	28
25	24	25	24	25	28
30	16	30	20	30	20
35	28	35	26	35	32
40	24	40	24	40	28
45	20	45	18	45	20
50	24	50	22	50	28
55	28	55	32	55	40
60	20	60	20	60	28
65	20	65	18	65	24
70	20	70	18	70	20
75	28	75	24	75	28
80	28	80	22	80	28
85	16	85	18	85	18
90	28	90	22	90	28
95	24	95	20	95	28
100	16	100	16	100	20
Max	28	Max	32	Max	40
Min	16	Min	16	Min	18

Prom SWR=	1,991
Prom SWR+1=	2,991
Prom SWR-1=	0,991
Prom α =	0,328
Prom α =	0,890
Des. Est. α =	0,035

frecuencia= 800					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	10	0	10	0	9
5	8	5	8	5	8
10	7	10	7	10	7
15	8	15	8	15	10
20	9	20	10	20	9
25	4	25	8	25	8
30	7	30	9	30	8
35	8	35	10	35	8
40	8	40	8	40	8
45	8	45	8	45	9
50	8	50	8	50	9
55	7	55	8	55	8
60	7	60	9	60	10
65	9	65	10	65	9
70	8	70	8	70	8
75	9	75	8	75	8
80	8	80	9	80	8
85	8	85	8	85	9
90	9	90	9	90	9
95	8	95	9	95	9
100	7	100	8	100	7
Max	10	Max	10	Max	10
Min	4	Min	7	Min	7

Prom SWR=	1,786
Prom SWR+1=	2,786
Prom SWR-1=	0,786
Prom α =	0,261
Prom α =	0,918
Des. Est. α =	0,088

frecuencia= 1000					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	48	0	8	0	24
5	44	5	8	5	28
10	40	10	11	10	52
15	56	15	9	15	44
20	52	20	9	20	28
25	52	25	10	25	44
30	40	30	9	30	52
35	56	35	9	35	28
40	60	40	9	40	28
45	36	45	10	45	60
50	56	50	10	50	36
55	52	55	8	55	25
60	44	60	11	60	56
65	44	65	9	65	48
70	48	70	8	70	24
75	64	75	11	75	44
80	32	80	11	80	60
85	64	85	9	85	32
90	52	90	10	90	32
95	44	95	10	95	62
100	52	100	9	100	36
Max	64	Max	11	Max	62
Min	32	Min	8	Min	24

Prom SWR=	1,986
Prom SWR+1=	2,986
Prom SWR-1=	0,986
Prom α =	0,311
Prom α =	0,890
Des. Est. α =	0,085

frecuencia= 1250					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	7	0	6	0	7
5	5	5	4	5	4
10	6	10	7	10	7
15	5	15	4	15	6
20	6	20	6	20	6
25	6	25	5	25	5
30	6	30	5	30	6
35	6	35	6	35	7
40	6	40	6	40	7
45	5	45	6	45	6
50	6	50	5	50	6
55	8	55	7	55	8
60	5	60	5	60	5
65	8	65	8	65	8
70	7	70	6	70	6
75	6	75	5	75	6
80	7	80	6	80	7
85	6	85	6	85	6
90	6	90	6	90	6
95	6	95	5	95	6
100	6	100	5	100	5
Max	8	Max	8	Max	8
Min	5	Min	4	Min	4

Prom SWR=	1,867
Prom SWR+1=	2,867
Prom SWR-1=	0,867
Prom α =	0,299
Prom α =	0,908
Des. Est. α =	0,033

frecuencia= 1600					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	48	0	20	0	17
5	16	5	14	5	48
10	44	10	40	10	14
15	16	15	12	15	48
20	36	20	40	20	16
25	24	25	13	25	36
30	44	30	40	30	18
35	32	35	14	35	34
40	48	40	22	40	24
45	52	45	20	45	28
50	28	50	16	50	32
55	52	55	30	55	20
60	20	60	12	60	40
65	40	65	40	65	16
70	20	70	12	70	48
75	36	75	40	75	16
80	20	80	12	80	50
85	44	85	34	85	18
90	28	90	14	90	48
95	48	95	24	95	20
100	36	100	18	100	32
Max	52	Max	40	Max	50
Min	16	Min	12	Min	14

Prom SWR=	3,385
Prom SWR+1=	4,385
Prom SWR-1=	2,385
Prom α =	0,543
Prom α =	0,704
Des. Est. α =	0,019

CONCRETO CON 50% DE SUSTITUCIÓN POR ESCORIA GRANULADA

frecuencia= 250					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	18	0	17	0	16
5	16	5	15	5	16
10	15	10	14	10	16
15	16	15	17	15	10
20	20	20	20	20	19
25	17	25	18	25	18
30	16	30	16	30	18
35	12	35	18	35	16
40	14	40	14	40	16
45	14	45	15	45	14
50	16	50	13	50	14
55	16	55	15	55	15
60	29	60	30	60	34
65	18	65	15	65	16
70	18	70	14	70	16
75	18	75	15	75	20
80	18	80	18	80	18
85	20	85	18	85	20
90	20	90	20	90	20
95	18	95	20	95	22
100	17	100	22	100	22
Max	29	Max	30	Max	34
Min	12	Min	13	Min	10

Prom SWR=	2,708
Prom SWR+1=	3,708
Prom SWR-1=	1,708
Prom α =	0,452
Prom α =	0,791
Des. Est. α =	0,077

frecuencia= 315					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	14	0	16	0	20
5	15	5	16	5	16
10	24	10	30	10	14
15	12	15	12	15	12
20	13	20	14	20	14
25	14	25	14	25	14
30	11	30	10	30	12
35	15	35	16	35	15
40	17	40	16	40	16
45	16	45	18	45	17
50	20	50	26	50	20
55	14	55	14	55	13
60	14	60	18	60	15
65	14	65	14	65	14
70	24	70	20	70	20
75	12	75	11	75	10
80	10	80	16	80	10
85	8	85	8	85	18
90	28	90	26	90	20
95	16	95	8	95	17
100	15	100	16	100	16
Max	28	Max	30	Max	20
Min	8	Min	8	Min	10

Prom SWR=	3,083
Prom SWR+1=	4,083
Prom SWR-1=	2,083
Prom α =	0,489
Prom α =	0,748
Des. Est. α =	0,122

frecuencia= 400					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	44	0	40	0	36
5	36	5	45	5	40
10	40	10	48	10	32
15	44	15	46	15	36
20	44	20	50	20	36
25	40	25	40	25	36
30	48	30	40	30	32
35	40	35	44	35	36
40	38	40	44	40	40
45	40	45	46	45	36
50	44	50	44	50	36
55	44	55	44	55	36
60	40	60	40	60	36
65	52	65	52	65	40
70	52	70	46	70	40
75	40	75	50	75	40
80	38	80	40	80	32
85	40	85	44	85	34
90	44	90	44	90	36
95	44	95	56	95	36
100	46	100	40	100	36
Max	52	Max	56	Max	40
Min	36	Min	40	Min	32

Prom SWR=	1,365
Prom SWR+1=	2,365
Prom SWR-1=	0,365
Prom α =	0,153
Prom α =	0,976
Des. Est. α =	0,011

frecuencia= 630					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	28	0	36	0	25
5	24	5	20	5	25
10	22	10	20	10	22
15	32	15	24	15	18
20	26	20	28	20	24
25	28	25	24	25	26
30	27	30	24	30	24
35	25	35	28	35	26
40	25	40	24	40	20
45	24	45	20	45	25
50	26	50	20	50	30
55	30	55	24	55	24
60	25	60	20	60	22
65	24	65	20	65	24
70	21	70	18	70	28
75	26	75	24	75	28
80	30	80	24	80	18
85	28	85	20	85	20
90	28	90	24	90	28
95	26	95	20	95	28
100	20	100	16	100	20
Max	32	Max	36	Max	30
Min	20	Min	16	Min	18

Prom SWR=	1,839
Prom SWR+1=	2,839
Prom SWR-1=	0,839
Prom α =	0,288
Prom α =	0,912
Des. Est. α =	0,052

frecuencia= 800					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	11	0	12	0	12
5	8	5	9	5	9
10	8	10	7	10	8
15	10	15	9	15	9
20	9	20	10	20	10
25	9	25	8	25	8
30	8	30	8	30	8
35	8	35	9	35	9
40	10	40	9	40	9
45	9	45	9	45	9
50	9	50	9	50	9
55	8	55	8	55	8
60	8	60	8	60	9
65	10	65	10	65	10
70	8	70	8	70	9
75	8	75	8	75	8
80	8	80	10	80	10
85	10	85	9	85	10
90	9	90	9	90	9
95	9	95	9	95	9
100	9	100	8	100	8
Max	11	Max	12	Max	12
Min	8	Min	7	Min	8

Prom SWR=	1,530
Prom SWR+1=	2,530
Prom SWR-1=	0,530
Prom α =	0,207
Prom α =	0,955
Des. Est. α =	0,023

frecuencia= 1000					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	22	0	13	0	14
5	18	5	11	5	13
10	12	10	9	10	20
15	16	15	12	15	16
20	18	20	12	20	15
25	14	25	10	25	18
30	14	30	11	30	17
35	20	35	12	35	14
40	16	40	10	40	15
45	14	45	10	45	20
50	16	50	10	50	16
55	20	55	13	55	14
60	14	60	10	60	20
65	12	65	8	65	17
70	20	70	13	70	14
75	16	75	12	75	19
80	14	80	9	80	24
85	18	85	13	85	26
90	18	90	12	90	18
95	12	95	9	95	24
100	14	100	10	100	16
Max	22	Max	13	Max	26
Min	12	Min	8	Min	13

Prom SWR=	1,819
Prom SWR+1=	2,819
Prom SWR-1=	0,819
Prom α =	0,289
Prom α =	0,915
Des. Est. α =	0,027

frecuencia= 1250					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	6	0	6	0	6
5	5	5	6	5	6
10	6	10	7	10	6
15	5	15	6	15	6
20	6	20	6	20	6
25	5	25	5	25	3,2
30	6	30	6	30	5,6
35	4	35	4	35	6,4
40	7	40	7	40	6
45	6	45	5	45	5,2
50	5	50	6	50	4,8
55	8	55	7	55	8
60	4	60	5	60	5
65	8	65	9	65	8
70	6	70	6	70	7
75	6	75	5	75	5
80	6	80	7	80	7
85	6	85	6	85	6
90	5	90	5	90	6
95	5	95	7	95	6
100	6	100	6	100	6
Max	8	Max	9	Max	8
Min	4	Min	4	Min	3,2

Prom SWR=	2,250
Prom SWR+1=	3,250
Prom SWR-1=	1,250
Prom α =	0,382
Prom α =	0,852
Des. Est. α =	0,036

frecuencia= 1600					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	50	0	40	0	40
5	20	5	24	5	20
10	50	10	44	10	40
15	18	15	20	15	16
20	56	20	48	20	52
25	18	25	20	25	18
30	56	30	48	30	44
35	20	35	28	35	24
40	48	40	40	40	36
45	28	45	32	45	32
50	24	50	28	50	32
55	48	55	52	55	52
60	20	60	20	60	20
65	60	65	48	65	60
70	18	70	20	70	16
75	56	75	44	75	60
80	16	80	20	80	16
85	56	85	44	85	52
90	20	90	24	90	20
95	48	95	48	95	44
100	25	100	36	100	25
Max	60	Max	52	Max	60
Min	16	Min	20	Min	16

Prom SWR=	3,367
Prom SWR+1=	4,367
Prom SWR-1=	2,367
Prom α =	0,534
Prom α =	0,711
Des. Est. α =	0,079

CONCRETO CON 75% DE SUSTITUCIÓN POR ESCORIA GRANULADA

frecuencia= 250					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	16	0	12	0	12
5	12	5	14	5	14
10	9	10	12	10	13
15	9	15	14	15	22
20	18	20	14	20	18
25	18	25	12	25	14
30	16	30	14	30	14
35	15	35	14	35	16
40	17	40	13	40	12
45	16	45	13	45	15
50	14	50	14	50	16
55	16	55	15	55	15
60	28	60	18	60	14
65	14	65	13	65	16
70	17	70	14	70	16
75	14	75	14	75	16
80	17	80	15	80	18
85	20	85	15	85	18
90	22	90	16	90	18
95	22	95	17	95	17
100	22	100	18	100	18
Max	28	Max	18	Max	22
Min	9	Min	12	Min	12

Prom SWR=	2,148
Prom SWR+1=	3,148
Prom SWR-1=	1,148
Prom α =	0,336
Prom α =	0,870
Des. Est. α =	0,118

frecuencia= 315					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	20	0	20	0	14
5	16	5	14	5	14
10	12	10	34	10	20
15	14	15	11	15	12
20	10	20	13	20	13
25	14	25	13	25	13
30	18	30	12	30	12
35	16	35	15	35	15
40	18	40	15	40	16
45	18	45	16	45	16
50	18	50	17	50	18
55	14	55	13	55	13
60	14	60	13	60	13
65	16	65	13	65	13
70	20	70	20	70	13
75	10	75	10	75	10
80	14	80	10	80	9
85	9	85	13	85	5
90	24	90	18	90	17
95	16	95	14	95	14
100	15	100	14	100	13
Max	24	Max	34	Max	20
Min	9	Min	10	Min	5

Prom SWR=	3,356
Prom SWR+1=	4,356
Prom SWR-1=	2,356
Prom α =	0,533
Prom α =	0,712
Des. Est. α =	0,077

frecuencia= 400					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	28	0	40	0	32
5	28	5	32	5	18
10	40	10	40	10	36
15	40	15	36	15	36
20	44	20	36	20	40
25	40	25	34	25	36
30	40	30	32	30	32
35	40	35	36	35	32
40	40	40	40	40	28
45	36	45	36	45	36
50	44	50	36	50	36
55	44	55	40	55	36
60	48	60	40	60	40
65	52	65	46	65	40
70	44	70	32	70	40
75	36	75	32	75	44
80	40	80	42	80	36
85	40	85	36	85	36
90	40	90	36	90	36
95	32	95	40	95	36
100		100	36	100	32
Max	52	Max	46	Max	44
Min	28	Min	32	Min	18

Prom SWR=	1,913
Prom SWR+1=	2,913
Prom SWR-1=	0,913
Prom α =	0,300
Prom α =	0,901
Des. Est. α =	0,072

frecuencia= 630					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	26	0	32	0	36
5	24	5	22	5	20
10	20	10	18	10	18
15	18	15	20	15	28
20	24	20	22	20	24
25	26	25	24	25	26
30	30	30	20	30	22
35	32	35	22	35	22
40	26	40	26	40	24
45	12	45	18	45	20
50	22	50	22	50	22
55	28	55	24	55	26
60	20	60	22	60	22
65	18	65	18	65	20
70	24	70	16	70	24
75	28	75	26	75	24
80	34	80	26	80	28
85	30	85	26	85	28
90	22	90	24	90	24
95	22	95	26	95	24
100	22	100	18	100	20
Max	34	Max	32	Max	36
Min	12	Min	16	Min	18

Prom SWR=	2,278
Prom SWR+1=	3,278
Prom SWR-1=	1,278
Prom α =	0,382
Prom α =	0,850
Des. Est. α =	0,068

frecuencia= 800					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	10	0	9	0	9
5	8	5	8	5	8
10	8	10	7	10	6
15	8	15	10	15	8
20	10	20	11	20	10
25	7	25	9	25	7
30	8	30	8	30	7
35	8	35	9	35	8
40	8	40	10	40	8
45	9	45	10	45	8
50	9	50	9	50	7
55	8	55	8	55	7
60	8	60	9	60	8
65	10	65	10	65	9
70	8	70	9	70	8
75	9	75	8	75	7
80	9	80	9	80	9
85	8	85	11	85	8
90	8	90	10	90	8
95	9	95	9	95	9
100	7	100	9	100	6
Max	10	Max	11	Max	10
Min	7	Min	7	Min	6

Prom SWR=	1,556
Prom SWR+1=	2,556
Prom SWR-1=	0,556
Prom α =	0,216
Prom α =	0,952
Des. Est. α =	0,016

frecuencia= 1000					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	18	0	10	0	16
5	11	5	8	5	10
10	9	10	8	10	10
15	12	15	10	15	14
20	12	20	8	20	12
25	10	25	7	25	10
30	11	30	10	30	12
35	12	35	9	35	14
40	11	40	8	40	10
45	10	45	7	45	10
50	10	50	9	50	12
55	13	55	10	55	14
60	10	60	8	60	10
65	9	65	8	65	10
70	13	70	10	70	14
75	10	75	8	75	10
80	9	80	7	80	10
85	12	85	10	85	14
90	12	90	9	90	12
95	10	95	8	95	10
100	10	100	8	100	10
Max	18	Max	10	Max	16
Min	9	Min	7	Min	10

Prom SWR=	1,676
Prom SWR+1=	2,676
Prom SWR-1=	0,676
Prom α =	0,247
Prom α =	0,935
Des. Est. α =	0,041

frecuencia= 1250					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	6	0	6	0	5
5	5	5	5	5	5
10	6	10	6	10	6
15	6	15	6	15	6
20	5	20	5	20	5
25	5	25	6	25	6
30	5	30	5	30	5
35	5	35	5	35	5
40	6	40	6	40	6
45	6	45	4	45	4
50	5	50	6	50	6
55	8	55	7	55	6
60	5	60	4	60	4
65	7	65	7	65	6
70	6	70	6	70	5
75	5	75	5	75	5
80	7	80	6	80	6
85	6	85	5	85	5
90	5	90	5	90	6
95	6	95	6	95	6
100	5	100	5	100	5
Max	8	Max	7	Max	6
Min	5	Min	4	Min	4

Prom SWR=	1,617
Prom SWR+1=	2,617
Prom SWR-1=	0,617
Prom α =	0,234
Prom α =	0,944
Des. Est. α =	0,017

frecuencia= 1600					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	48	0	26	0	36
5	28	5	16	5	52
10	40	10	40	10	48
15	20	15	16	15	28
20	32	20	44	20	48
25	20	25	14	25	20
30	44	30	48	30	42
35	32	35	15	35	16
40	52	40	44	40	40
45	40	45	18	45	20
50	40	50	22	50	52
55	52	55	30	55	28
60	24	60	16	60	40
65	44	65	40	65	52
70	20	70	14	70	20
75	40	75	48	75	52
80	20	80	13	80	16
85	40	85	44	85	44
90	24	90	14	90	16
95	48	95	36	95	44
100	44	100	17	100	16
Max	52	Max	48	Max	52
Min	20	Min	13	Min	16

Prom SWR=	3,181
Prom SWR+1=	4,181
Prom SWR-1=	2,181
Prom α =	0,516
Prom α =	0,731
Des. Est. α =	0,067

CONCRETO CON 100% DE SUSTITUCIÓN POR ESCORIA GRANULADA

frecuencia= 250					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	15	0	15	0	14
5	14	5	14	5	5
10	13	10	8	10	10
15	20	15	20	15	16
20	26	20	15	20	15
25	24	25	14	25	15
30	24	30	15	30	14
35	14	35	17	35	16
40	15	40	14	40	15
45	15	45	14	45	15
50	15	50	13	50	14
55	14	55	18	55	15
60	14	60	14	60	15
65	16	65	15	65	16
70	16	70	16	70	15
75	15	75	15	75	15
80	17	80	17	80	16
85	18	85	15	85	17
90	18	90	14	90	18
95	16	95	20	95	15
100	20	100	14	100	15
Max	26	Max	20	Max	18
Min	13	Min	8	Min	5

Prom SWR=	2,700
Prom SWR+1=	3,700
Prom SWR-1=	1,700
Prom r=	0,442
Prom α =	0,795
Des. Est. α =	0,106

frecuencia= 315					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	14	0	15	0	13
5	15	5	18	5	14
10	13	10	12	10	12
15	12	15	13	15	13
20	12	20	12	20	11
25	14	25	14	25	17
30	16	30	17	30	15
35	16	35	17	35	15
40	16	40	18	40	16
45	17	45	18	45	17
50	14	50	14	50	12
55	14	55	14	55	15
60	14	60	18	60	14
65	13	65	16	65	16
70	10	70	12	70	10
75	11	75	10	75	8
80	9	80	15	80	15
85	6	85	14	85	17
90	18	90	16	90	15
95	14	95	15	95	13
100	13	100	15	100	10
Max	18	Max	18	Max	17
Min	6	Min	10	Min	8

Prom SWR=	2,308
Prom SWR+1=	3,308
Prom SWR-1=	1,308
Prom α =	0,382
Prom α =	0,846
Des. Est. α =	0,087

frecuencia= 400					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	28	0	40	0	44
5	26	5	36	5	48
10	36	10	44	10	48
15	40	15	40	15	44
20	40	20	36	20	40
25	36	25	36	25	40
30	36	30	40	30	44
35	32	35	36	35	40
40	40	40	40	40	44
45	36	45	40	45	44
50	36	50	38	50	44
55	36	55	40	55	48
60	40	60	44	60	40
65	40	65	44	65	44
70	40	70	40	70	48
75	32	75	32	75	36
80	36	80	40	80	48
85	36	85	40	85	44
90	36	90	40	90	44
95	40	95	40	95	48
100	40	100	44	100	44
Max	40	Max	44	Max	48
Min	26	Min	32	Min	36

Prom SWR=	1,416
Prom SWR+1=	2,416
Prom SWR-1=	0,416
Prom α =	0,171
Prom α =	0,970
Des. Est. α =	0,013

frecuencia= 630					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	38	0	20	0	30
5	18	5	20	5	24
10	18	10	18	10	22
15	20	15	20	15	28
20	20	20	20	20	30
25	22	25	20	25	28
30	22	30	20	30	34
35	22	35	19	35	26
40	24	40	20	40	14
45	18	45	18	45	28
50	22	50	28	50	34
55	32	55	22	55	28
60	18	60	18	60	26
65	18	65	18	65	24
70	20	70	22	70	32
75	24	75	23	75	34
80	18	80	18	80	22
85	26	85	27	85	32
90	22	90	22	90	30
95	24	95	22	95	27
100	20	100	20	100	34
Max	38	Max	28	Max	34
Min	18	Min	18	Min	14

Prom SWR=	2,032
Prom SWR+1=	3,032
Prom SWR-1=	1,032
Prom α =	0,330
Prom α =	0,884
Des. Est. α =	0,064

frecuencia= 800					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	7	0	8	0	8
5	7	5	8	5	6
10	7	10	8	10	10
15	9	15	9	15	9
20	9	20	8	20	8
25	7	25	8	25	8
30	8	30	8	30	8
35	8	35	7	35	8
40	9	40	9	40	9
45	10	45	8	45	9
50	8	50	7	50	8
55	7	55	8	55	8
60	9	60	11	60	10
65	8	65	9	65	9
70	7	70	6	70	10
75	8	75	9	75	9
80	9	80	10	80	9
85	9	85	10	85	9
90	8	90	10	90	9
95	9	95	8	95	8
100	8	100	8	100	8
Max	10	Max	11	Max	10
Min	7	Min	6	Min	6

Prom SWR=	1,643
Prom SWR+1=	2,643
Prom SWR-1=	0,643
Prom α =	0,240
Prom α =	0,940
Des. Est. α =	0,028

frecuencia= 1000					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	10	0	18	0	11
5	9	5	10	5	7
10	10	10	12	10	10
15	14	15	16	15	13
20	11	20	12	20	9
25	9	25	10	25	10
30	11	30	14	30	10
35	13	35	14	35	10
40	13	40	12	40	9
45	10	45	10	45	9
50	12	50	14	50	12
55	12	55	14	55	9
60	9	60	10	60	8
65	11	65	15	65	11
70	13	70	14	70	11
75	10	75	10	75	8
80	10	80	12	80	10
85	12	85	15	85	11
90	11	90	12	90	9
95	10	95	10	95	9
100	11	100	13	100	10
Max	14	Max	18	Max	13
Min	9	Min	10	Min	7

Prom SWR=	1,738
Prom SWR+1=	2,738
Prom SWR-1=	0,738
Prom α =	0,268
Prom α =	0,927
Des. Est. α =	0,023

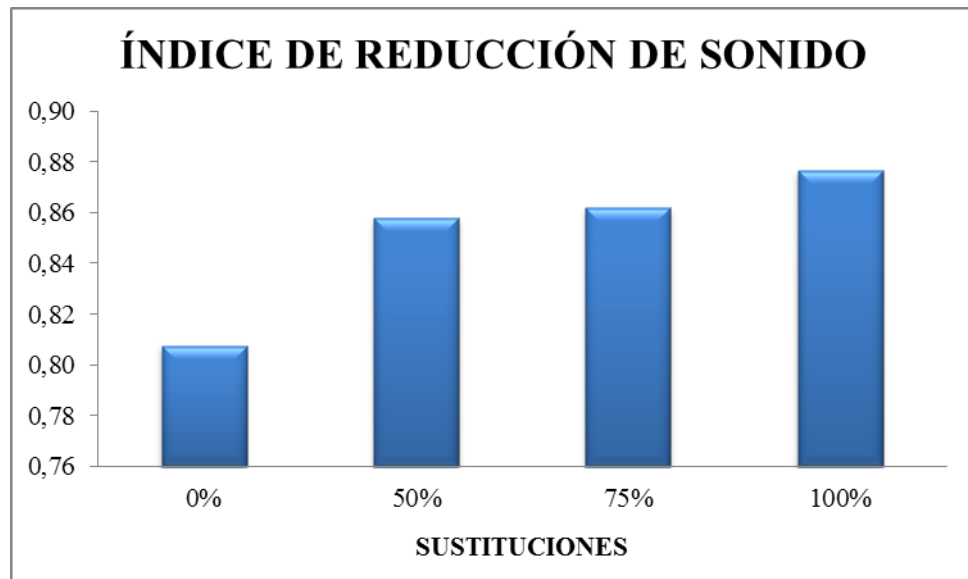
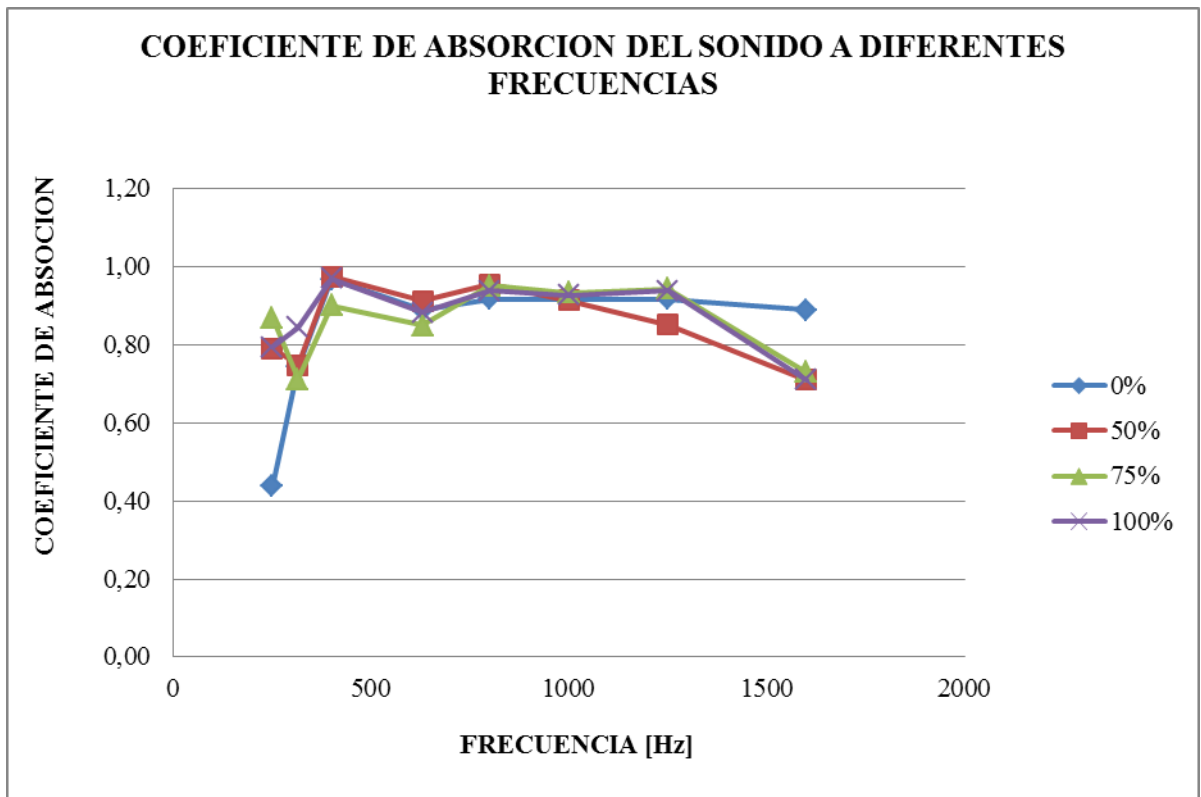
frecuencia= 1250					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	5	0	9	0	6
5	6	5	9	5	8
10	6	10	13	10	9
15	6	15	8	15	7
20	6	20	10	20	9
25	7	25	10	25	8
30	6	30	10	30	8
35	6	35	11	35	9
40	6	40	12	40	7
45	5	45	8	45	7
50	6	50	12	50	10
55	6	55	8	55	7
60	5	60	9	60	9
65	7	65	13	65	9
70	5	70	7	70	7
75	6	75	11	75	9
80	6	80	10	80	8
85	5	85	8	85	8
90	7	90	11	90	9
95	6	95	9	95	7
100	5	100	8	100	7
Max	7	Max	13	Max	10
Min	5	Min	7	Min	6

Prom SWR=	1,641
Prom SWR+1=	2,641
Prom SWR-1=	0,641
Prom α =	0,239
Prom α =	0,940
Des. Est. α =	0,031

frecuencia= 1600					
ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV	L (cm)	Amplitud de onda mV
0	13	0	28	0	20
5	40	5	16	5	52
10	15	10	34	10	16
15	26	15	20	15	52
20	22	20	26	20	18
25	18	25	30	25	38
30	18	30	20	30	30
35	14	35	30	35	22
40	48	40	18	40	44
45	13	45	38	45	16
50	44	50	15	50	52
55	14	55	40	55	16
60	28	60	16	60	52
65	16	65	40	65	14
70	24	70	20	70	48
75	24	75	38	75	16
80	16	80	28	80	34
85	34	85	28	85	20
90	14	90	40	90	24
95	48	95	20	95	30
100	14	100	38	100	16
Max	48	Max	40	Max	52
Min	13	Min	15	Min	14

Prom SWR=	3,358
Prom SWR+1=	4,358
Prom SWR-1=	2,358
Prom α =	0,535
Prom α =	0,711
Des. Est. α =	0,071

Cálculo de α	Sustitución	Promedio SWR	Promedio SWR+1	Promedio SWR-1	Promedio r	Promedio α	Des. Estandar
Frecuencia 250 Hz	0%	2,74	2,74	3,74	1,74	0,44	0,80
	50%	2,71	3,71	1,71	0,45	0,79	0,08
	75%	2,15	3,15	1,15	0,34	0,87	0,12
	100%	2,70	3,70	1,70	0,44	0,80	0,11
Frecuencia 315 Hz	0%	3,08	4,08	2,08	0,50	0,74	0,08
	50%	3,08	4,08	2,08	0,49	0,75	0,12
	75%	3,36	4,36	2,36	0,53	0,71	0,08
	100%	2,31	3,31	1,31	0,38	0,85	0,09
Frecuencia 400 Hz	0%	1,42	2,42	0,42	0,17	0,97	0,01
	50%	1,36	2,36	0,36	0,15	0,98	0,01
	75%	1,91	2,91	0,91	0,30	0,90	0,07
	100%	1,42	2,42	0,42	0,17	0,97	0,01
Frecuencia 630 Hz	0%	1,99	2,99	0,99	0,33	0,89	0,03
	50%	1,84	2,84	0,84	0,29	0,91	0,05
	75%	2,28	3,28	1,28	0,38	0,85	0,07
	100%	2,03	3,03	1,03	0,33	0,88	0,06
Frecuencia 800 Hz	0%	1,79	2,79	0,79	0,26	0,92	0,09
	50%	1,53	2,53	0,53	0,21	0,96	0,02
	75%	1,56	2,56	0,56	0,22	0,95	0,02
	100%	1,64	2,64	0,64	0,24	0,94	0,03
Frecuencia 1000 Hz	0%	1,99	2,99	0,99	0,31	0,89	0,09
	50%	1,82	2,82	0,82	0,29	0,92	0,03
	75%	1,68	2,68	0,68	0,25	0,93	0,04
	100%	1,74	2,74	0,74	0,27	0,93	0,02
Frecuencia 1250 Hz	0%	1,87	2,87	0,87	0,30	0,91	0,03
	50%	2,25	3,25	1,25	0,38	0,85	0,04
	75%	1,62	2,62	0,62	0,23	0,94	0,02
	100%	1,64	2,64	0,64	0,24	0,94	0,03
Frecuencia 1600 Hz	0%	3,38	4,38	2,38	0,54	0,70	0,02
	50%	3,37	4,37	2,37	0,53	0,71	0,08
	75%	3,18	4,18	2,18	0,52	0,73	0,07
	100%	3,36	4,36	2,36	0,53	0,71	0,07



ANEXO I MEMORIAS DE ENSAYO DE FUEGO EN MUESTRAS DE CONCRETO

ENSAYO DE FUEGO

Termocupla 1 (expuesta al fuego directo)

Termocupla 2 (parte posterior del espécimen)

LECTURAS FINALES DE TEMPERATURA

50% DE SUSTITUCIÓN CON ESCORIA GRANULADA

PROBETA 1	Temperatura [°C]
T1	700
T2	171

PROBETA 2	Temperatura [°C]
T1	712
T2	158,42

75% DE SUSTITUCIÓN CON ESCORIA GRANULADA

PROBETA 1	Temperatura [°C]
T1	716
T2	157,1

PROBETA 2	Temperatura [°C]
T1	698
T2	137,53

100% DE SUSTITUCIÓN CON ESCORIA GRANULADA

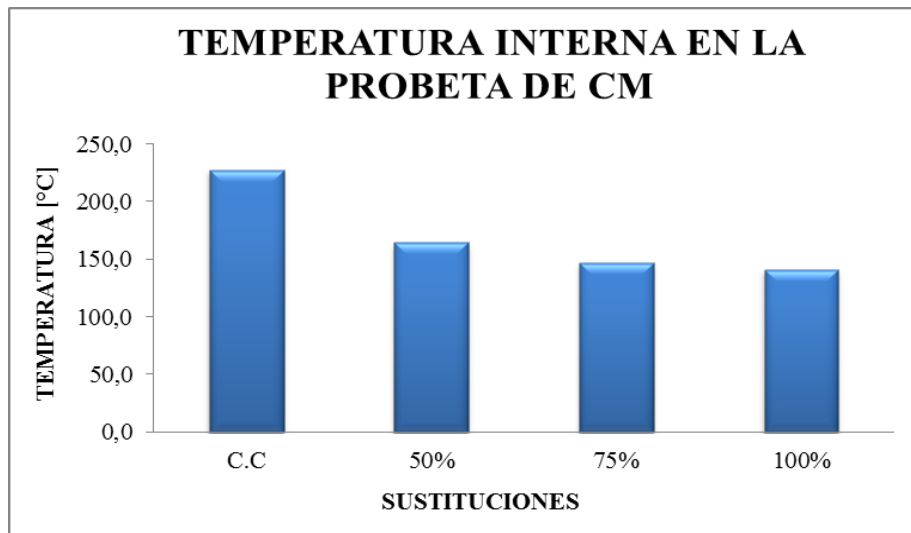
PROBETA 1	Temperatura [°C]
T1	690
T2	136,07

PROBETA 2	Temperatura [°C]
T1	708
T2	146,19

CONCRETO CONTROL

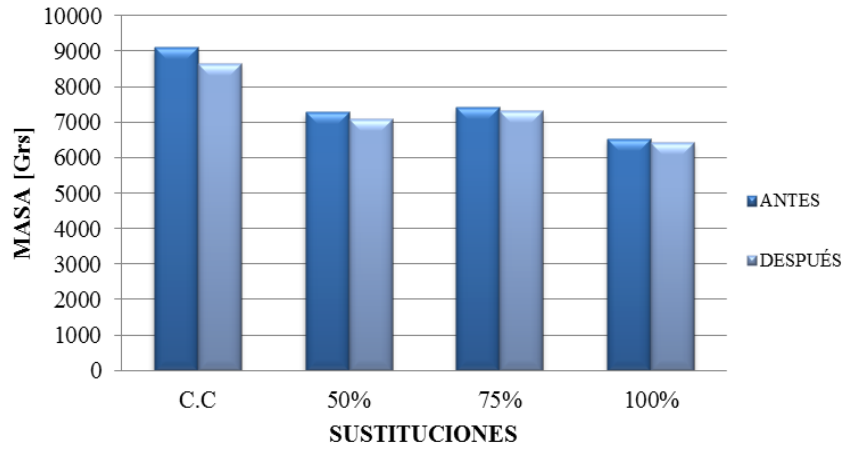
PROBETA 1	Temperatura [°C]
T1	780
T2	266,2

PROBETA 2	Temperatura [°C]
T1	800
T2	188,97

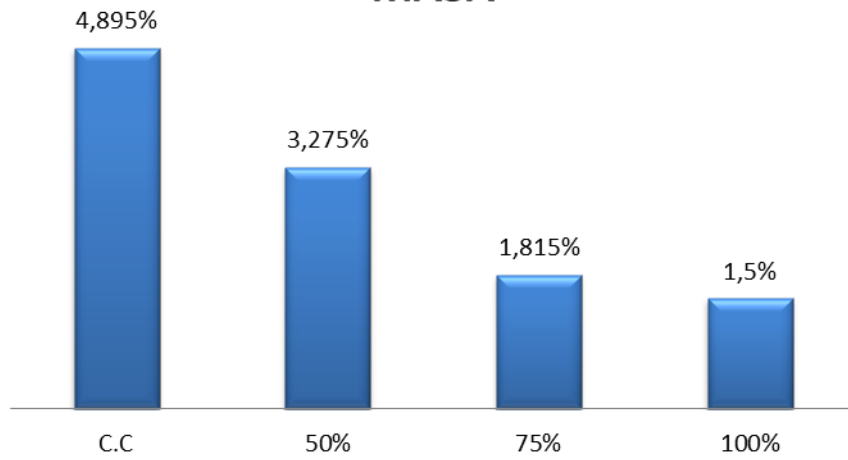


MASA DE LOS ESPÉCIMENES [Grs] ANTES Y DESPUES DEL FUEGO			
	IDENTIFICACIÓN	ANTES	DESPUÉS
C.C	ESPÉCIMEN 1	8540	8126
	ESPÉCIMEN 2	9112	8662
50%	ESPÉCIMEN 1	7410	7110
	ESPÉCIMEN 2	7280	7098
75%	ESPÉCIMEN 1	7148	6998
	ESPÉCIMEN 2	7440	7326
100%	ESPÉCIMEN 1	7070	6968
	ESPÉCIMEN 2	6548	6446

MASA DE LOS ESPECÍMENES ANTES Y DESPUÉS DEL FUEGO



PORCENTAJE EN PÉRDIDA DE MASA



ESPECIFICACIONES DE LAS TERMOCUPLAS

Product Name: **Thermocouple**

Part No. : **56300**

Calibration: **Type K**

Quantity: **1 PC**

Temperatura de trabajo: **0 a + 850°C.**

DEFINICIÓN DE TERMOCUPLA

Es la unión de dos metales en un extremo llamado junta de medición o junta caliente continuando hasta el extremo opuesto o junta de referencia / junta fría. Se produce una fuerza electromotriz "FEM" que es resultado de la diferencia de temperatura entre la junta caliente y la junta fría.

TIPO K: El más usado en la industria debido a su confiabilidad y exactitud de calibración. Muy buena respuesta en forma continua hasta 1260°C. Se comporta muy bien en atmósferas oxidantes y es conveniente su protección en atmósferas reductoras.

CLASE	DIAMETRO BULBO	CONEXIÓN	CODIGO
J	5/16"	1/4 NPT	J-5
K	5/16"	1/4 NPT	K-5

CLASE	DIAMETRO BULBO	CONEXIÓN	CODIGO
J	3/16"	1/8 NPT	J-3
K	3/16"	1/8 NPT	K-3

ANEXO J MEMORIAS FOTOGRÁFICAS DE LOS DIFERENTES ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE MATERIALES

J.1 MATERIALES Y ENSAYOS



Acopio de la Escoria



Escoria granulada



Densidad del concreto



Ensayo a la Escoria



Materiales para realizar el CM



Prueba de Colorimetria.



Curado de los especímenes



Prueba de asentamiento



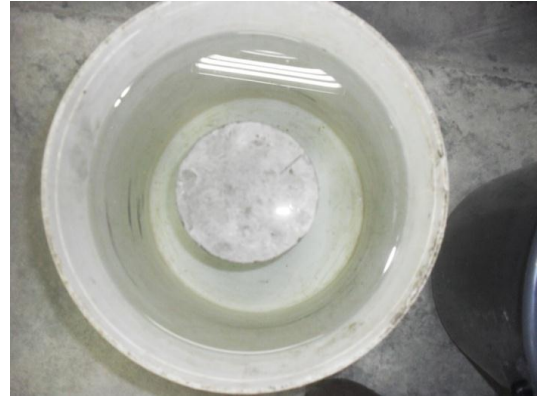
Fundición de Probetas



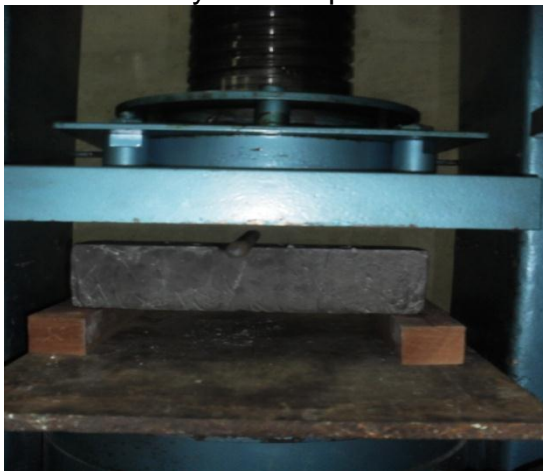
J2. ENSAYOS AL CM



Ensayo a Compresión



Ensayo de Absorción



Ensayo a Flexión



Absorción del sonido



Prueba de Fuego

