



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

**DISEÑO DE CONCRETO REFRACTARIO UTILIZANDO
RESIDUOS DE LADRILLOS DE BARRO COCIDO**

Wilmer Estiven López Enriquez

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, abril de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE CONCRETO REFRACTARIO UTILIZANDO
RESIDUOS DE LADRILLOS DE BARRO COCIDO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

WILMER ESTIVEN LÓPEZ ENRIQUEZ

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
EXAMINADOR	Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE CONCRETO REFRACTARIO UTILIZANDO RESIDUOS DE LADRILLOS DE BARRO COCIDO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 7 de mayo de 2014.



Wilmer Estiven López Enriquez



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



Guatemala, 25 de noviembre de 2015

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

Ingeniero Ordoñez

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO DE CONCRETO REFRACTARIO UTILIZANDO RESIDUOS DE LADRILLOS DE BARRO COCIDO** elaborado con el estudiante universitario Wilmer Estiven López Enriquez, quien contó con la asesoría de la suscrita.

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

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"


Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol
Col. 5947
ASESORA

Dilma Y. Mejicanos Jol
Ingeniera CIVIL
Col. 5947



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

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



Guatemala,
19 de febrero de 2016

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación DISEÑO DE CONCRETO REFRACTARIO UTILIZANDO RESIDUOS DE LADRILLOS DE BARRO COCIDO, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Wilmer Estiven López Enriquez quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

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



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua



PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL ACREDITADO POR Agencia Centroamericana de Acreditación de Programas de Arquitectura e Ingeniería PERIODO 2013 - 2018



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

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



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Wilmer Estiven López Enriquez, titulado **DISEÑO DE CONCRETO REFRACTARIO UTILIZANDO RESIDUOS DE LADRILLOS DE BARRO COCIDO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, abril 2016
/mrrm.

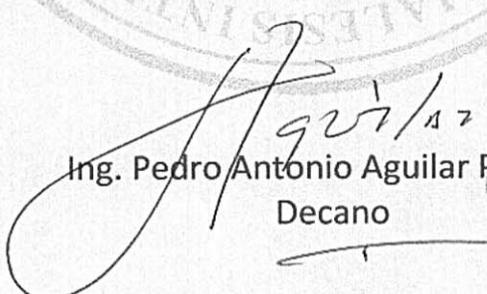
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE CONCRETO REFRACTARIO UTILIZANDO RESIDUOS DE LADRILLOS DE BARRO COCIDO**, presentado por el estudiante universitario: **Wilmer Estiven López Enriquez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, abril de 2016

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** El ser supremo que me dio el don de la vida y me da sus bendiciones cada día.
- Mis padres** Aurelio López y Aura Enríquez, por su amor, sacrificio y apoyo incondicional. Mi inspiración.
- Mis hermanos** Gerson y Osman López Enriquez, por apoyarme en todo momento, los tengo en mi corazón.
- Mi tía** Amabilia Enríquez, la quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis padres	Sin ellos no lo hubiera logrado.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrirme sus puertas y ser mi amada casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme una formación académica profesional.
Mis amigos de la Facultad	Es una lista muy grande, pero todos formaron parte de muchas experiencias importantes en el estudio y la vida.
Inga. Dilma Mejicanos	Por su apoyo y asesoría con el presente trabajo y ser una importante influencia en mi carrera.
Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC	Por la colaboración en el proceso práctico del trabajo de graduación.

1.3.3.3.	Desventajas del cemento refractario	6
2.	CONCRETOS REFRACTARIOS	7
2.1.	Definición	7
2.2.	Tipo de concretos refractarios.....	7
2.3.	Aplicaciones y usos.....	8
2.3.1.	Hornos.....	9
2.3.2.	Calderas	9
2.3.3.	Chimeneas	10
3.	RESIDUOS DE LADRILLOS DE BARRO COCIDO.....	11
3.1.	Definición	11
3.2.	Obtención.....	11
3.3.	Propiedades	12
3.4.	Características	12
3.5.	Aplicaciones	12
4.	ACCIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL CONCRETO ESTRUCTURAL	13
4.1.	Calor.....	13
4.2.	Dilatación térmica.....	13
4.3.	Choque térmico.....	13
4.4.	Efecto <i>spalling</i>	14
4.5.	Pérdida de resistencia.....	14
4.6.	Salto térmico	14
4.6.1.	Pérdida de adherencia	15
4.7.	Influencia de los agregados	15
4.7.1.	Calentamiento y enfriamiento.....	15
4.7.2.	Propiedades térmicas.....	16

5.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	19
5.1.	Justificación	19
5.2.	Descripción del experimento	20
5.2.1.	Materiales	21
5.2.1.1.	Agregado grueso	22
5.2.1.2.	Agregado fino	23
5.2.1.3.	Cemento	24
5.2.1.4.	Agua	24
5.2.2.	Mezclas de concreto.....	24
5.2.2.1.	Mezcla dosificada con ladrillo refractario como agregado grueso (R1).....	25
5.2.2.2.	Mezcla dosificada con ladrillo tayuyo como agregado grueso (R2)	25
5.2.2.3.	Mezcla de concreto convencional (PN)	25
5.2.3.	Extracciones de núcleo según Norma ASTM C-42.....	26
5.3.	Propiedades mecánicas y características físicas de los materiales	28
5.3.1.	Caracterización de los agregados	28
5.3.2.	Dosificación de los concretos	32
5.3.2.1.	Dosificación de las mezclas.....	33
5.3.3.	Concretos en estado fresco	35
5.3.4.	Concreto endurecido	37
5.3.4.1.	Resistencia a compresión.....	37
6.	SOMETIMIENTO DEL CONCRETO A ALTAS TEMPERATURAS	43
6.1.	Descripción de horno utilizado.....	43

6.2.	Exposición del concreto al calor	46
6.2.1.	Colocación de las probetas	46
6.3.	Medición de la temperatura interna y externa con el termómetro infrarrojo.....	47
6.3.1.	Termómetro infrarrojo.....	47
6.4.	Transmisión de calor en las probetas.....	49
7.	EVALUACIÓN DEL CONCRETO	55
7.1.	Determinación de la resistencia a compresión.....	55
7.1.1.	Pérdida de la resistencia a compresión.....	59
7.2.	Dilatación térmica.....	62
7.3.	Fracturas	63
7.4.	Aplicación de la nueva propuesta de concreto refractario.....	65
7.4.1.	Base de concreto refractario para caldera industrial.....	65
7.4.2.	Pruebas de laboratorio y campo.....	68
7.4.2.1.	Asentamiento	68
7.4.2.2.	Resistencia a compresión	69
	CONCLUSIONES.....	73
	RECOMENDACIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Influencia del coeficiente lineal de expansión térmica.....	17
2.	Ladrillo refractario.....	22
3.	Trituración del ladrillo refractario	23
4.	Fundición de plancha para extracciones de núcleo	26
5.	Especímenes de concreto según las mezclas R1, R2 y PN.....	27
6.	Gráfico de la resistencia a compresión de la mezcla “R1”	39
7.	Gráfico de la resistencia a compresión de la mezcla “R2”	40
8.	Gráfico de la resistencia a compresión de la mezcla “PN”	41
9.	Comparación de resistencias de diseño.....	42
10.	Colocación de piedras calizas	44
11.	Conformación del recubrimiento del horno.....	44
12.	Calcinación de la cal con el horno artesanal	45
13.	Termómetro infrarrojo utilizado en el ensayo	48
14.	Especificaciones del termómetro infrarrojo	48
15.	Medición de la temperatura interna con el termómetro infrarrojo	49
16.	Medición de la temperatura con el termómetro infrarrojo	50
17.	Variación de la temperatura externa e interna de la mezcla R1	52
18.	Variación de la temperatura externa e interna de la mezcla R2.....	52
19.	Variación de la temperatura externa e interna de la mezcla PN	53
20.	Resistencia a compresión contra tiempo de la mezcla R1	57
21.	Resistencia a compresión contra tiempo de la mezcla R2	58
22.	Resistencias a compresión contra tiempo de las mezclas	58
23.	Tendencia lineal de las pérdidas de resistencia a compresión	62

24.	Microscopio para detectar fracturas.....	63
25.	Medición de las fracturas con el microscopio	64
26.	Preparación y cimbrado de la base.....	66
27.	Área a fundir con concreto refractario.....	66
28.	Banco de agregados.....	67
29.	Elemento fundido con concreto refractario	67
30.	Revenimiento del concreto para la caldera.....	68
31.	Muestreo de concreto en estado fresco.....	69
32.	Llenado de los testigos de concreto.....	70

TABLAS

I.	Tipos de concretos refractarios.....	8
II.	Caracterización del agregado fino	28
III.	Caracterización del agregado grueso (piedra caliza).....	29
IV.	Caracterización de los residuos de ladrillo tayuyo artesanal	30
V.	Caracterización de los residuos de ladrillo refractario.....	31
VI.	Cuadro comparativo de los agregados gruesos	32
VII.	Resistencia promedio requerida en el concreto	33
VIII.	Resultados de la dosificación de los concretos R1, R2 y PN.....	34
IX.	Resultados de los ensayos al concreto en estado fresco	36
X.	Factor de corrección de acuerdo a la relación altura/diámetro (L/D)	38
XI.	Resultados de la resistencia a compresión de la mezcla “R1”	39
XII.	Resultados de la resistencia a compresión de la mezcla “R2”	40
XIII.	Resultados de la resistencia a compresión de la mezcla “PN”	41
XIV.	Tiempo de exposición a altas temperaturas de las probetas	46
XV.	Resultados de transmisión térmica a una temperatura de 110 °C.....	51
XVI.	Resistencia de las probetas sin ser sometidas a altas temperaturas....	56
XVII.	Aumento de la resistencia a compresión a los 130 días	56

XVIII.	Resistencia a de la mezcla “R1” después de ser sometida a altas temperaturas	59
XIX.	Resistencia de la mezcla “R2” después de ser sometida a altas temperaturas	60
XX.	Resistencia del concreto convencional “PN” después de ser sometida a altas temperaturas	60
XXI.	Pérdidas de resistencia a la compresión de los concretos después de ser sometidos a altas temperaturas	61
XXII.	Ancho de las fracturas en el concreto estructural “PN”	64
XXIII.	Resistencia a compresión a diferentes edades del concreto utilizado en la base de la caldera del Laboratorio de Operaciones Unitarias en la Facultad de Ingeniería, USAC	71

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Hp	Caballo de potencia
CaO	Cal
P	Carga
cm	Centímetro
PN	Concreto convencional
R1	Concreto dosificado con ladrillo refractario
R2	Concreto dosificado con ladrillo tayuyo
Δ	Delta
D	Diámetro
°C	Grados Celsius
g	Gramos
kg	Kilogramos
L	Largo
Lb	Libra
Psi	Libras por pulgada cuadrada
m	Metro
mm	Milímetro
min	Minuto
Núm.	Número
%	Porcentaje
D : S	Relación entre ancho y alcance
S	Resistencia a tracción
F'c	Resistencia máxima del concreto a compresión

Ti

Temperatura interna

Te

Temperatura esterna

GLOSARIO

ACI	American Concrete Institute
Adherencia	Acción de unión entre las superficies de dos cuerpos heterogéneos puestos en contacto.
Agregado	Material granular duro de composición mineralógica como la arena, grava, escoria o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.
Agregado fino	Agregado que pasa el tamiz de 4,75 milímetros (#4).
Agregado grueso	Agregado retenido en el tamiz de 4,75 milímetros (#4).
ASTM	American Society for Testing and Materials.
Ca(OH)₂	Hidróxido de calcio.
Calcinar	Someter al calor una materia para que se destruya o descomponga.
Cerámico	Material inorgánico, no metálico, buen aislante y de alta temperatura de fusión.

Curado	Brindar las propiedades de humedad y temperatura al concreto para que desarrolle efectivamente su resistencia a compresión.
Fraguado	Proceso de endurecimiento del concreto, en el cual pasa de un estado plástico a un estado sólido, procedente de la reacción química del cemento y el agua.
Heterogéneo	Que está formado por elementos de distinta clase o naturaleza.
IMCYC	Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
Intersticial	Que está en un espacio pequeño entre dos cuerpos o entre dos partes de un mismo cuerpo.
Revenimiento	Sinónimo de trabajabilidad del concreto.
Tayuyo	Ladrillo artesanal o manufacturado sin huecos elaborado de barro cocido.
Trabajabilidad	Facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco, así como la resistencia a la segregación de este.

RESUMEN

El cemento refractario en el país es escaso y difícil de obtener, por lo que económicamente no es factible el uso de este cuando se desea producir a escalas menores un concreto refractario. La sustitución de agregados gruesos de origen cerámico puede brindarle propiedades refractarias al concreto en gran magnitud.

En el presente trabajo de investigación se evalúa la influencia del agregado grueso en el concreto al ser sometido este a altas temperaturas. Los agregados que se estudian por separado son: las partículas residuales del ladrillo refractario manufacturado, ladrillo tayuyo artesanal y el piedrín o agregado procedente de piedra caliza. Los concretos son dosificados bajo las mismas condiciones respecto a un mismo tipo de cemento y agregado fino. El estudio de los concretos elaborados abarca desde su estado fresco, endurecido y las pérdidas de resistencia o fracturas por dilatación térmica, que estas puedan tener al ser sometidos a altas temperaturas por diferentes intervalos de tiempo en un horno artesanal para calcinar cal. Es evaluada también la transmisión de calor dentro de estos concretos.

Los resultados de los ensayos han reflejado que la dosificación con materiales cerámicos, como agregado grueso en las mezclas, reducen considerablemente la pérdida de resistencia a compresión al ser expuestas al calor, así como una pronunciada ganancia en la resistencia a compresión a lo largo del tiempo. Estas mezclas son menos susceptibles a fracturas por la dilatación térmica y a la transmisión del calor, funcionando como concretos refractarios.

OBJETIVOS

General

Dosificar un concreto refractario utilizando residuos de ladrillo de barro cocido, que sea capaz de resistir las exposiciones a altas temperaturas.

Específicos

1. Determinar eficiencia de los agregados de origen cerámico y los agregados pétreos al dosificar concretos para soportar altas temperaturas.
2. Evaluar la resistencia a compresión de los concretos a comparar.
3. Evaluar las pérdidas de resistencias causadas por la temperatura.
4. Determinar la transmisión de calor de los concretos a dosificar.
5. Evaluar el estado físico de los concretos dosificados después de ser sometidos a altas temperaturas.
6. Implementar la sustitución de materiales cerámicos como agregados gruesos para la elaboración de un concreto refractario.

INTRODUCCIÓN

La demanda de nuevas tecnologías en materiales de construcción, es causada muchas veces por la industria. Siderurgias, ingenios y hasta cementeras hacen uso de hornos con capacidades de hasta 1 200 °C, los cuales muchas veces en su construcción usan concretos refractarios, fabricados con cemento refractario.

Cuando el concreto es sometido a altas temperaturas tiende a afectar sus propiedades mecánicas, principalmente la resistencia. Esto se debe a la pérdida de agentes hidráulicos como la cal, la cual se deshidrata. Un concreto refractario tiene amplias aplicaciones, desde hornos hasta calderas, pero cabe mencionar, que no se le ha dado la debida importancia en el país, por lo que, la adquisición del cemento refractario es difícil y poco económico, por esta razón se pretende dosificar un concreto refractario con materiales accesibles y que brinden resultados aceptables ante el sometimiento de estos a las altas temperaturas.

Se propone implementar en la dosificación de un concreto los residuos de ladrillos de barro cocido, para que en conjunto conformen un concreto refractario, para sustituir al cemento refractario cuando este sea factible.

1. REFRACTARIOS

Los materiales refractarios al ser sometidos a altas temperaturas no presentan deformaciones o grietas, debido a su bajo coeficiente de dilatación térmica.

1.1. Definición

Son materiales que poseen la propiedad de no fundirse y por ende, de no deformarse cuando son sometidos a la acción de las altas temperaturas. Además, de resistir los cambios bruscos de temperaturas, estos materiales resisten la influencia destructiva de la abrasión.

Están constituidos en su mayoría, por silicatos, óxidos, carburos, grafito, entre otros.

1.2. Clasificación

Los refractarios se clasifican de acuerdo a su contenido químico y dependiendo de su composición pueden ser refractarios ácidos, básicos, neutros y especiales.

1.2.1. Refractarios ácidos

Este tipo de refractarios contiene un bajo contenido en alúmina y alto en sílice. Ejemplo de ellos son los ladrillos de arcilla cocida, granitos, areniscas, cuarcitas, esquistos de mica, piedras pómez, entre otros. Estos son los

primeros materiales refractarios utilizados en la construcción de los antiguos hornos para fundiciones en la metalurgia.

Principalmente, eran piedras que se utilizaban para revestir hornos, la piedra pómez, por ejemplo, fue utilizada en las paredes de los hornos de cocción como revestimiento, luego fueron sustituidas por los ladrillos de barro cocido.

1.2.2. Refractarios básicos

Se utilizaron por primera vez en 1877, por Thomas y Gilchrist. A estos materiales los caracteriza el gran contenido de magnesita y dolomía. La magnesita es un mineral compuesto químicamente de carbonato de magnesio, y la dolomía es una roca sedimentaria compuesta básicamente de dolomita. Estos refractarios tienen su punto de fusión bastante elevado y son más costosos que los ácidos. Ejemplo de estos refractarios básicos son algunos ladrillos con un alto contenido de magnesita.

1.2.3. Refractarios neutros

Estos materiales funcionan como barreras entre los refractarios ácidos y los refractarios básicos. Se componen principalmente de carbón, alúmina y cromatina. Son fuertes y densos, son conductivos y tienen buena resistencia a los cambios volumétricos y al choque térmico.

Fueron utilizados en Alemania después de la Segunda Guerra Mundial, para la fabricación de crisoles que soportaran el peso del metal a fundir.

1.2.4. Refractarios especiales

Están compuestos, principalmente de carbono y el grafito. Son utilizados especialmente en una atmósfera no oxidante, esto quiere decir, cuando no hay disponibilidad de oxígeno.

1.3. Refractarios en la construcción

Estos materiales son ampliamente usados en la construcción, y según su aplicación, se utilizan para la fabricación de elementos constructivos.

1.3.1. Cerámicos

Son materiales inorgánicos, no conductivos, y su punto de fusión es elevado, prácticamente son refractarios por excelencia, teniendo grandes contenidos de arcillas, sílice, alúmina, entre otros. Ejemplo de estos materiales en la construcción se tienen los ladrillos refractarios, tejas, baldosas, vidrios, azulejos, porcelanas, entre otros.

1.3.2. Ladrillos refractarios

Estos tipos de ladrillos son utilizados, generalmente en instalaciones industriales o en trabajos de estufas domésticas, debido a sus características especiales como la resistencia a altas temperaturas y a la abrasión. Estos ladrillos tienden a disminuir la adherencia con el mortero por sus caras lisas.

Este material es empleado para el revestimiento de calderas, ollas de aceración, hornos refractarios de cementeras, parrillas, entre otros. Pero debido a sus buenas propiedades térmicas, es costoso, ya que son fabricados en

calidades variadas, dependiendo de la concentración de alúmina (óxido de aluminio, junto con la sílice, son los constituyentes más importantes de las arcillas, los cuales le confieren resistencia y aumentan la temperatura de maduración de estas). El uso para distintos medios depende de la calidad de estos ladrillos.

Las concentraciones de alúmina en la fabricación de ladrillos refractarios van desde el 36 hasta el 99 %, pudiendo emplearse también sílice.

En la actualidad existen diferentes tipos de ladrillos refractarios según su composición química.

1.3.2.1. Ladrillos de circonio

Estos son muy utilizados en la construcción de pavimentos, así como en la fabricación de toberas para vaciado. Contienen un alto porcentaje de óxido de circonio, el cual es utilizado para recubrir hornos, fabricar crisoles de laboratorio y es empleado como material refractario en industrias cerámicas y de vidrio debido a los cambios bruscos de temperatura, que es capaz de soportar.

1.3.2.2. Ladrillos de sílice

Estos son muy útiles cuando son sometidos a altas temperaturas de forma continua, pero no son eficientes cuando se alterna la temperatura, es decir, si se somete a temperaturas bajas y altas alternadamente, tienden a desintegrar. Son muy utilizados en la construcción de hornos.

1.3.2.3. Ladrillos de alta alúmina

Cuentan con alto contenido de alúmina, caracterizado por su coeficiente de dilatación térmica baja. Son utilizados en la regeneración de hornos dañados por ácidos.

1.3.2.4. Ladrillos refractarios de alta resistencia

La aplicación principal de estos está en la elaboración de hornos de cal y cemento, ya que las condiciones de resistencia mecánica que exigen estos hornos son absorbidas por los ladrillos, siendo la columna vertebral de este tipo de hornos.

1.3.3. Cementos refractarios

Es un material adicionado con aluminatos de calcio y minerales ricos en alúmina, ambos triturados a un tamaño de micras para mantener la fineza misma del cemento. Estos cementos sintetizan y le dan propiedades cerámicas a sus componentes, mientras aumenta la temperatura a la que son sometidos.

1.3.3.1. Definición

Son cementos que contienen cerca del 30 a 35 % de materia refractaria, como la alúmina y magnesio en su composición química. Se les dio un uso estructural en sus comienzos, ya que tenían la ventaja que el concreto que era producto de estos cementos, contaba con un fraguado rápido, alcanzando simultáneamente su resistencia total, lo cual aligeraba el tiempo de construcción.

Debido al fracaso en su empleo estructural, fue sustituido por el uso en hornos, calderas, chimeneas y en cualquier otra estructura que esté sometida a altas temperaturas.

1.3.3.2. Cementos refractarios en el país

En la actualidad, es posible encontrar cemento refractario en el país, pero este se debe hacer bajo pedidos especiales, debido a su costo elevado en comparación con el precio del cemento tradicional.

1.3.3.3. Desventajas del cemento refractario

Las desventajas de la utilización de este tipo de cemento para la elaboración de concreto refractario se mencionan a continuación:

- Su adquisición en el país no es sencilla.
- Aumenta la porosidad en el concreto, y por ende, disminuye su resistencia ante condiciones ambientales como la humedad, polución y altas temperaturas.
- Se desintegra conforme el tiempo.
- Poca adherencia entre el concreto y el acero como factor resultante de la porosidad del concreto.
- Deficiencia en cuanto al recubrimiento del acero debido a la porosidad generada.

Debido a las desventajas mencionadas anteriormente, no es recomendable utilizar cementos refractarios para la elaboración de concretos para uso estructural.

2. CONCRETOS REFRACTARIOS

Son todos aquellos concretos que se componen de uno o varios materiales refractarios, logrando como producto un material compuesto con alta resistencia térmica debido a sus componentes principales como el cemento y agregados.

2.1. Definición

Concreto que resulta de la mezcla entre cemento refractario, agregados refractarios con una distribución granulométrica adecuada, agua y aditivos en algunas ocasiones.

Normalmente se emplean cementos aluminosos en la elaboración de estos concretos, aunque se emplea también, cementos a base de magnesio y fosfato, por el alto punto de fusión que los caracteriza, pero su uso causa un daño al medio ambiente debido al desprendimiento de amoniaco durante el sometimiento térmico, por lo que se utilizan, para acelerar el fraguado y brindar una alta resistencia inicial en el concreto.

2.2. Tipo de concretos refractarios

El contenido de la cal es crucial en los concretos refractarios, ya que esta se deshidrata ante las altas temperaturas, por lo que es necesario reducir o eliminar la proporción de este compuesto. En el concreto, el contenido de cal se encuentra presente en el cemento y el agregado grueso como el pedrín, el cual es piedra de procedencia caliza, la materia prima de la cal.

Tabla I. **Tipos de concretos refractarios**

Tipos	% de CaO
Concretos convencionales	> 2,5
Concretos de bajo cemento	≥ 1 y $\leq 2,5$
Concretos con mínima presencia de cemento (muy bajo contenido)	$\geq 0,2$ y < 1
Concretos sin cemento	$< 0,2$

Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la tabla I, los concretos convencionales son utilizados en la construcción, estos tienen un contenido de cal mayor al 2,5 % (cal en el cemento y el pedrín, por ejemplo). En los concretos de bajo cemento y con mínima presencia de cemento se deben utilizar elementos refractarios que suplan la necesidad de la resistencia a compresión y altas temperaturas, como sílice y la alúmina, que como ya se ha mencionado, son elementos puramente refractarios.

2.3. Aplicaciones y usos

El uso de los concretos refractarios es basto para la industria. Generalmente, son utilizados en el revestimiento de hornos y en calderas. También cuando la resistencia a la compresión no es primordial, como en hornos de casa, saunas, y otros.

2.3.1. Hornos

Este elemento suele encerrar calor en su interior, con el fin de refinar, fundir o cocer el o los materiales que se colocan en su interior. Tienen la capacidad de guardar y mantener el calor en su interior, por lo que se necesita un revestimiento de materiales refractarios que funcionen como un aislante térmico. El horno, además de ser utilizado para alterar las temperaturas en los sólidos, debe de operar fluidos, los cuales están en contacto con la superficie del mismo, por lo que el material que se utilice de revestimiento debe tener buenas propiedades mecánicas.

El material refractario que se utilice en la elaboración del horno debe resistir las altas temperaturas, abrasión, ataques químicos y muchas exigencias en el proceso. Los hornos están fabricados con distintos materiales, como concretos refractarios y aceros al carbón.

La selección del material correcto, de acuerdo al uso del horno, es esencial para la eficiencia y tiempo de vida del mismo, ya que los procesos son críticos, como la calcinación y clinquerización, en los cuales se alcanzan temperaturas entre 1 200 y 1 350 grados Celsius.

2.3.2. Calderas

La característica principal de las calderas es su empleo en la generación de energía y la producción de vapor. Son muy utilizadas en los ingenios azucareros. Al igual que los hornos, el revestimiento es la parte fundamental de estos elementos, siendo elaborado de materiales refractarios, los cuales ocupan un volumen menor al resto de los materiales empleados en la fabricación de las calderas (acero y concreto).

El concreto refractario en el revestimiento de calderas es utilizado en puertas, paredes, cabezales y en todas las áreas donde el uso de la mampostería no es factible.

2.3.3. Chimeneas

Las chimeneas industriales son elementos que sirven para conducir los gases que se producen en un horno a la atmósfera. El recubrimiento interior de estas chimeneas exige materiales refractarios debido a las elevadas temperaturas de los gases conducidos. En estos elementos es utilizado más el mampuesto y mortero refractario, pudiendo ser sustituidos por el concreto refractario cuando sea necesario.

3. RESIDUOS DE LADRILLOS DE BARRO COCIDO

Se estima que en el país las ladrilleras tienen un deshecho de 4 000 toneladas métricas por mes, el cual lo reciclan o lo venden como una especie de ripio.

3.1. Definición

Material de textura granular conformada por materiales arcillosos refractarios previamente calcinados. Tienen un alto contenido de alúmina y sílice. Su apariencia se asemeja a la de los agregados gruesos o finos.

3.2. Obtención

Proporcionalmente a la demanda en las industrias ladrilleras, cerca del 2 % de la producción es considerado ripio, ya que los elementos dejan de ser elementos en sí y, ya no son funcionales estructuralmente, perdiendo su valor y uso principal. Considerando lo anterior, se producen cerca de 90 metros cúbicos mensualmente de residuos en una ladrillera particular. Es de suma importancia resaltar que este desperdicio o ripio, tiene un costo muy cercano al agregado fino.

Ahora, considerando casos especiales, se puede obtener por medio de la trituración de los ladrillos convencionales, en donde se puede dar un mejor control del tamaño de la partícula deseada, pero genera un gasto de recursos y tiempo adicional.

3.3. Propiedades

Los residuos de ladrillo de barro cocido tienen un alto contenido de materiales refractarios (40 % de alúmina y 30 % de sílice, como mínimo). Su punto de fusión es alto y su porcentaje de absorción suele estar por encima del 5 %.

3.4. Características

Como material sílico-aluminoso, sus principales características se resumen así:

- Resistencia mecánica a la alta temperatura y en los saltos térmicos
- Resistencia a las variaciones de temperatura
- Conductividad térmica
- Resistencia a la corrosión química y física

3.5. Aplicaciones

Los residuos de ladrillo de barro cocido son utilizados, principalmente en rellenos para barrancos o muros de contención, por su volumen y gran contenido de vacíos. Estos prácticamente pueden sustituir a la grava cuando su uso sea para rellenos.

4. ACCIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL CONCRETO ESTRUCTURAL

Quando un concreto es sometido al calor intenso, la dilatación térmica de los propios componentes causa efectos en este material compuesto, los cuales pueden ser de pequeña, a gran escala.

4.1. Calor

Es el paso o la transferencia de energía térmica entre diferentes cuerpos o zonas que se encuentran a distintas temperaturas. Este proceso empieza desde un cuerpo de mayor a otro de menor temperatura. Desde el punto de vista de la termodinámica, el calor se define como la transferencia de energía.

4.2. Dilatación térmica

Es el aumento de longitud y, por ende de volumen que sufre un cuerpo debido a la elevación de la temperatura. Este efecto tiene que ver directamente con el tipo de material que puede soportar altas temperaturas.

4.3. Choque térmico

Es el colapso o rotura de un material al ser sometido a un cambio drástico de temperatura. También es llamado colapso térmico.

4.4. Efecto *spalling*

Es el desprendimiento que ocurre en los recubrimientos de los miembros de concreto cuando estos son expuestos al fuego. Este efecto se da rápidamente a los 100 y 150 °C, como un resultado del choque térmico y el cambio de estado del agua intersticial.

4.5. Pérdida de resistencia

La pérdida de resistencia a compresión del concreto a temperaturas superiores a los 300 °C es considerable. Esta pérdida de resistencia a compresión está en función de los materiales utilizados en la composición del concreto, así como la temperatura a la cual se expone el mismo.

Los constituyentes hidráulicos del cemento se deshidratan con el aumento de la temperatura; el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pierde su agua combinada alrededor de los 400 °C y posteriormente al enfriarse se origina un aumento de volumen. Los agregados son grandes influyentes en la pérdida de resistencia, ya que estos tienen diferentes coeficientes de expansión térmica, generando así microfisuras que afectan a la resistencia a compresión y a la durabilidad del mismo.

4.6. Salto térmico

Es un cambio de temperatura. En el concreto estructural se da cuando el acero, por su dilatación térmica genera esfuerzos no deseados en el concreto, provocando fisuras, las cuales al enfriarse conllevan a la rotura.

4.6.1. Pérdida de adherencia

La pérdida de adherencia entre el acero y el concreto en el concreto estructural, sometido a altas temperaturas, se debe principalmente a la compresión del concreto que genera el acero debido a su expansión. Esta compresión del concreto hace que se pierda la adherencia.

4.7. Influencia de los agregados

El tipo de agregado tiene influencia sobre la resistencia al fuego de las estructuras de concreto, ya que la dilatación térmica de la pasta y de los agregados no es la misma, tal como se discute en el Código ACI 216R. Para tener mejores resultados ante el calor es necesario que el agregado grueso en especial, tenga un coeficiente de dilatación térmica similar al de la pasta, para que el diferencial de estos no cause grietas en el concreto que puedan afectar su funcionamiento a largo plazo.

4.7.1. Calentamiento y enfriamiento

Pruebas de laboratorio hechas por Selvaggio y Carson en 1964 y Breams y Gustaferró en 1968 han demostrado que el concreto con agregado ligero es más resistente al fuego que el concreto hecho con agregado de masa normal. El agregado ligero reduce la conductividad térmica del concreto, aislándolo mejor de la fuente de calor. La escoria de altos hornos es un gran ejemplo, ya que es más resistente al fuego que otros agregados de masa normal debido a su ligereza y estabilidad mineral a altas temperaturas.

Los agregados carbonatados son más resistentes al fuego que los agregados silíceos. Las dolomitas se calcinan entre los 600 a 700 °C y la calcita de la piedra caliza aproximadamente a los 900 °C.

En el agregado se forma una capa calcinada, la cual aísla al concreto de la fuente de calor y reduce la velocidad a la que se calienta el interior del concreto.

Generalmente, los agregados que contienen cuarzo tales como el granito, la arenisca y la cuarcita son más susceptibles a daños por fuego, aproximadamente a los 570 °C. El cuarzo experimenta una expansión de 0,85%, la cual puede hacer que el concreto sufra pérdida de resistencia y se dé el efecto *spalling*.

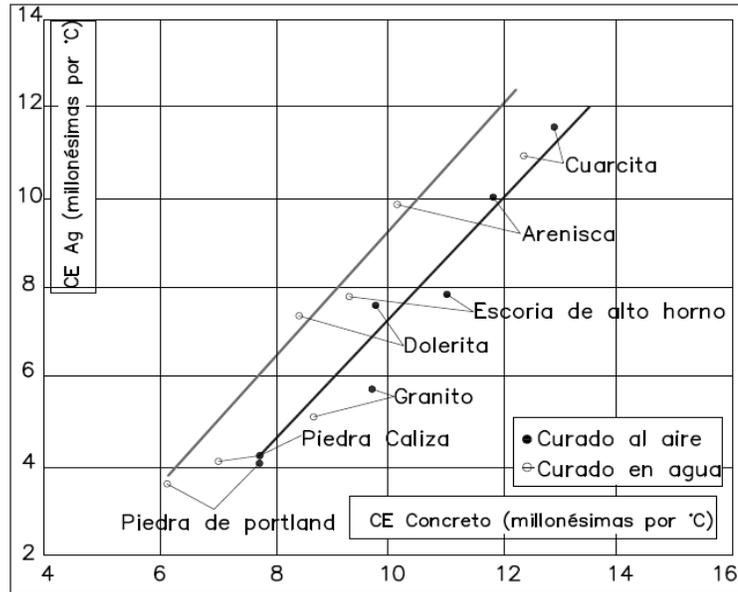
4.7.2. Propiedades térmicas

Las propiedades que afectan a las características térmicas del concreto son el coeficiente de expansión térmica, calor específico, conductividad térmica y la difusión.

Cada uno de los materiales que compone el concreto contribuye a la conductividad y al calor específico en proporción a la cantidad del material presente. El contenido de humedad del concreto influye en el coeficiente térmico del mismo, así como también en la difusión térmica.

Cuando se tiene mucha presencia de cuarzo en el agregado, más alto es el coeficiente de expansión térmica. Se debe resaltar que la pasta de cemento tiene un coeficiente de expansión térmica, aproximadamente de 1,5 veces más grande que el cuarzo, el cual tiene el coeficiente más alto de expansión térmica de los materiales comunes.

Figura 1. **Influencia del coeficiente lineal de expansión térmica**



Fuente: Neville, *Tecnología del Concreto*, 1999. IMCYC. p. 156.

Un agregado que tenga un bajo coeficiente térmico sería preferido cuando los esfuerzos diferenciales térmicos totales a través de una sección sean excesivos. Utilizar un agregado con un coeficiente térmico más bajo hace que se incrementen los esfuerzos térmicos diferenciales entre la pasta y el agregado, por lo que el diseñador debe decidir cuál de las situaciones de esfuerzo es la crítica.

La conductividad térmica es proporcional a la masa unitaria del concreto. Mientras más pesado es el agregado usado, la conductividad térmica es más baja. La pasta de cemento tiene una conductividad térmica más baja que la mayoría de los agregados. Entonces, mientras más agregado se use en la mezcla, más alto será el valor de conductividad térmica.

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Los agregados son los elementos más influyentes en el concreto. Se espera que la sustitución del agregado grueso de origen pétreo por un agregado cerámico influya significativamente en los concretos sometidos a altas temperaturas.

5.1. Justificación

La importancia de un concreto refractario es el producto de las demandas en la industria. En los distintos procedimientos de la transformación de la materia prima se utilizan hornos, calderas, chimeneas, entre otros; los cuales pueden estar conformados por concretos refractarios, que estos a su vez, lo componen principalmente cemento y agregados, ambos refractarios.

Dado que el cemento refractario es poco accesible y no viable en el país, comparado con el cemento convencional, se propone la utilización de agregado grueso que posea un coeficiente de dilatación o expansión térmica baja en el concreto tradicional, que a partir de esta sustitución será llamado concreto refractario. En este caso, los residuos de ladrillo de barro cocido será el nuevo agregado grueso, el cual se obtiene en las plantas ladrilleras como un ripio o en casos especiales, por trituración del propio ladrillo. Esto con el fin de mitigar costos y hacer uso de materiales locales para la elaboración del concreto refractario. Este agregado sustituirá al agregado tradicional utilizado en el concreto estructural.

5.2. Descripción del experimento

La comparación del comportamiento ante las altas temperaturas de las nuevas dosificaciones de concreto propuestos se hace con un concreto convencional como patrón. Básicamente se comparan tres concretos elaborados con distinto agregado grueso: piedrín, ladrillo refractario y ladrillo artesanal tayuyo. Cada muestreo es sometido a las mismas condiciones y son evaluados posteriormente para conocer los resultados con el método de extracción de núcleos, ya que se tiene poca disponibilidad de ladrillo refractario para la investigación.

La metodología utilizada se describe a continuación:

- Se propone la sustitución del piedrín por partículas de ladrillo refractario o ladrillo artesanal tayuyo, por lo que se hacen tres mezclas en las cuales cada una es dosificada con un tipo distinto de agregado grueso de los mencionados anteriormente (piedrín, ladrillo refractario y ladrillo artesanal). El agregado fino es el mismo para las tres mezclas (material pétreo), así como el tipo de cemento y agua, pues se evaluará la influencia del agregado grueso.
- Las mezclas dosificadas se colocaron en un molde de 1,00 x 1,00 x 0,15 metros, formando así un bloque de concreto en el cual se realizaron 24 extracciones de núcleo por cada bloque.
- Cada testigo extraído de cada bloque es separado y curado en agua saturada de cal para preservar la alcalinidad, ya que esta tiene un efecto de carbonatación del concreto que a niveles muy elevados puede causar el agrietamiento y astillamiento del mismo. Estos testigos son los patrones o muestras de ensayo, los que se someterán a las pruebas para comparar los concretos elaborados.

- Posteriormente al control de calidad de los concretos, se someten las muestras a altas temperaturas, por lo que se utiliza un horno calero artesanal, el cual alcanza temperaturas muy altas capaces de calcinar la piedra caliza. El tiempo de sometimiento de las muestras es de 30, 60 y 90 minutos.
- Se evalúan las pérdidas de resistencia de los concretos después de haber sido sometidas a la acción de altas temperaturas. Para este procedimiento se someten a esfuerzos de compresión dos muestras: estas son sometidas al horno y las que no se sometieron a altas temperaturas. Este procedimiento se hace por mezcla realizada y para los diferentes tiempos de sometimiento al horno.
- Se buscan micro fisuras en los testigos que dan indicios a la dilatación térmica que sufrió el concreto, para lo cual se utiliza un microscopio para detección de fisuras en el concreto y en los agregados, verificando la adherencia entre estos.
- Los concretos son sometidos en un horno industrial con una temperatura constante de 110 °C a diferentes intervalos de tiempo. Al cumplir el tiempo de exposición al calor son sacados y se mide la temperatura externa de los testigos con un termómetro infrarrojo. Posteriormente, se ensayan a tensión indirecta y se mide la temperatura interna de los testigos internamente, esto con el fin de estimar la transmisión térmica del concreto en sus diferentes agregados gruesos utilizados para su dosificación.

5.2.1. Materiales

Las mezclas utilizadas para este experimento están conformadas de los mismos materiales, pero varía su composición en cuanto a agregado grueso se

trata. Por lo que se identifican con distinto nombre a las mezclas para diferenciarlas.

5.2.1.1. Agregado grueso

Dado a su coeficiente de expansión térmica se propuso la utilización de los residuos de ladrillo artesanal y ladrillo manufacturado refractario con alto contenido de sílice como agregado grueso, utilizando los siguientes materiales:

- Piedrín
- Residuos de ladrillo tayuyo artesanal
- Residuos de ladrillo refractario con alto contenido de sílice

Para obtener residuos de los ladrillos, estos fueron triturados, ya que la cantidad a utilizar era poca en comparación con la que se consigue en el mercado.

Figura 2. **Ladrillo refractario**



Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

Los ladrillos refractarios utilizados son muy densos, por lo que se espera un buen comportamiento adicionado al concreto.

Figura 3. **Trituración del ladrillo refractario**



Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

En la trituración del ladrillo se llevó a cabo el cribado de las partículas, para llevar un mejor control de la granulometría de los residuos.

5.2.1.2. Agregado fino

Se utilizó como agregado fino, arena triturada de piedra caliza, la cual es de buena calidad y tiene mejor rendimiento en el concreto. La utilización de esta arena mejorará la comparación entre las tres mezclas realizadas, por lo que se espera que este agregado no sea quien afecte significativamente la resistencia del concreto.

5.2.1.3. Cemento

Dado a las propiedades del ladrillo y a la poca resistencia a compresión que poseen como mampuesto, se realizó un diseño de concreto con resistencia alta, ya que no se conocía de la resistencia que podría perder el concreto después de ser sometido a altas temperaturas. Para este caso se diseñó el concreto para una resistencia a compresión de 350 kg/cm^2 . Para cumplir estas condiciones se utilizó cemento estructural 5 800 Psi tipo Pórtland.

5.2.1.4. Agua

La cantidad de agua utilizada era la necesaria para tener la trabajabilidad deseada. En ninguna dosificación de concreto se utilizó agua donde se dudaba de su procedencia o calidad, cumpliendo con las especificaciones de agua para concreto, las cuales indican que puede ser agua potable libre de materia en suspensión y con un pH entre 6,0 y 9,2. El agua potable tiene un pH de 6,5 a 8,5 según Coguanor NGO 29001, por lo que es aceptada el agua utilizada.

5.2.2. Mezclas de concreto

Para realizar una comparación de los concretos se necesita que estos tengan los mismos componentes en cuanto a cemento, agregado fino y agua, ya que se sabe que el agregado grueso fue diferente para ambas mezclas. Es muy importante resaltar que se proporcionaron las mezclas para una misma resistencia de diseño que fue de 350 kg/cm^2 .

El diseño de las mezclas se realizó según los métodos ACI 211.1, siendo el más utilizado en concretos convencionales por su simplicidad y aproximación a las proporciones óptimas de la mezcla de concreto.

El método de control de calidad para el concreto en estado endurecido utilizado es el de extracción de núcleos, como se especifica en la Norma ASTM C-42. Se emplearon planchas cuadradas de 1,5 m con un espesor de 0,10 m, con el objetivo de realizar 24 extracciones para su posterior evaluación.

5.2.2.1. Mezcla dosificada con ladrillo refractario como agregado grueso (R1)

El agregado grueso de esta mezcla es el de ladrillo refractario con alto contenido de sílice, por lo que no contiene piedrín o grava tradicional usada en el concreto. Este es considerado como concreto refractario, nombrándolo así como “R1”.

5.2.2.2. Mezcla dosificada con ladrillo tayuyo como agregado grueso (R2)

Este concreto es considerado también como refractario, y su diferencia radica en que se sustituyó el piedrín por los residuos de ladrillo artesanal para su elaboración.

5.2.2.3. Mezcla de concreto convencional (PN)

Esta es la mezcla de concreto convencional, la elaborada con los materiales tradicionales del concreto estructural. Este concreto será el utilizado para comparar las propiedades mecánicas antes y después de ser sometidos a altas temperaturas los tres concretos.

5.2.3. Extracciones de núcleo según Norma ASTM C-42

Como ya se mencionó, se han utilizado moldes cuadrados con dimensiones de 1,5 x 1,5 m, con un espesor de 0,10 m, en los cuales fueron vaciadas las mezclas R1, R2 y PN para su posterior fraguado y curado.

Figura 4. Fundición de plancha para extracciones de núcleo



Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

En cada plancha de concreto se extrajo 24 especímenes, los cuales fueron utilizados para evaluar la resistencia a compresión de diseño a los 3, 7 y 28 días. Los especímenes sobrantes fueron sometidos a altas temperaturas para evaluarlos y comparar sus pérdidas de resistencias ante esfuerzos de compresión.

La extracción de núcleos de concreto y su ensayo a compresión fue realizada en condiciones de laboratorio, considerando el tamaño de agregados

utilizados en relación al espesor de las planchas de concreto. Según especificaciones del ACI, el tamaño máximo del agregado grueso debe ser:

- Un tercio del espesor de la losa
- Tres cuartos de separación mínima entre armaduras
- Un quinto de la menor dimensión estructural

Como no se contaba con suficiente material de ladrillo refractario, se escogió la alternativa de extracciones de núcleo, ya que se necesita menos cantidad de materiales en comparación con los testigos de concreto convencionales.

Figura 5. **Especímenes de concreto según las mezclas R1, R2 y PN**



Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

5.3. Propiedades mecánicas y características físicas de los materiales

Para tener resultados confiables es necesario que los agregados a utilizar sean analizados en cuanto a sus características físicas para dosificar un concreto de buena calidad, posteriormente se determinan las propiedades mecánicas de los concretos para comparar los cambios que se dieron después de ser sometidos a las altas temperaturas.

5.3.1. Caracterización de los agregados

Se realizaron los análisis de ensayo para conocer la caracterización física de los agregados en la Sección de Agregados, Concretos y Morteros del CII/USAC, basándose en las normas correspondientes e indicadas en cada ensayo.

Tabla II. Caracterización del agregado fino

Agregado fino	
Ensayo	Resultado
ASTM C-29 peso unitario volumétrico suelto (kg/m^3)	1 480,00
ASTM C-29 peso unitario volumétrico compactado (kg/m^3)	1 690,00
ASTM C-117 % de material que pasa el tamiz 200	2,90
ASTM C-128 peso específico	2,65
ASTM C-128 % de absorción	1,20

Continuación de la tabla II.

ASTM C-136 módulo de finura	2,82
ASTM C-136 granulometría	Cumple con las especificaciones
ASTM C-40 contenido de materia orgánica (color)	1
Porcentaje de Vacíos (%)	36,00

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

Tabla III. **Caracterización del agregado grueso (piedra caliza)**

Piedrín	
Ensayo	Resultado
ASTM C-29 peso unitario volumétrico suelto (kg/m ³)	1 140,00
ASTM C-29 peso unitario volumétrico compactado (kg/m ³)	1 270,00
ASTM C-117 % de material que pasa el tamiz 200	2,60
ASTM C-128 peso específico	2,45
ASTM C-127 % de absorción	2,70
ASTM C-29 % de vacíos	48,00
ASTM C-136 granulometría	Taba #67 (19,0 a 4,75 mm)
Módulo de finura	6,73

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

Las tablas IV y V, que a continuación se muestran, contienen los resultados de los análisis completos como agregados gruesos realizados a los residuos de ladrillo tayuyo artesanal y refractario.

Tabla IV. **Caracterización de los residuos de ladrillo tayuyo artesanal**

Ladrillo tayuyo	
Ensayo	Resultado
ASTM C-29 peso unitario volumétrico suelto (kg/m ³)	760,00
ASTM C-29 peso unitario volumétrico compactado (kg/m ³)	890,00
ASTM C-117 % de material que pasa el tamiz 200	7,30
ASTM C-128 peso específico	1,88
ASTM C-127 % de absorción	27,70
ASTM C-29 % de vacíos	52,00
ASTM C-136 granulometría	Taba #56 (25,0 a 4,75 mm)
módulo de finura	6,99

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

Tabla V. **Caracterización de los residuos de ladrillo refractario**

Ladrillo refractario	
Ensayo	Resultado
ASTM C-29 peso unitario volumétrico suelto (kg/m ³)	1 300,00
ASTM C-29 peso unitario volumétrico compactado (kg/m ³)	1 420,00
ASTM C-117 % de material que pasa el tamiz 200	0,20
ASTM C-128 peso específico	2,69
ASTM C-127 % de absorción	8,00
ASTM C-29 % de vacíos	47,40
ASTM C-136 granulometría	Taba #56 (25,0 a 9,50 mm)
módulo de finura	7,27

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

Tabla VI. **Cuadro comparativo de los agregados gruesos**

Ensayo	Ladrillo refractario	Ladrillo tayuyo	Piedrín
ASTM C-29 peso unitario volumétrico suelto	1 300,00	760,00	1 140,00
ASTM C-29 peso unitario volumétrico compactado	1 420,00	890,00	1 270,00
ASTM C-117 % de material que pasa el tamiz 200	0,20	7,30	2,60
ASTM C-128 peso específico	2,45	1,88	2,69
ASTM C-127 % de absorción	2,70	27,70	8,00
ASTM C-29 % de vacíos	47,40	52,00	48,00
ASTM C-136 granulometría	Tabla #56 (25,0 a 9,50 mm)	Tabla #56 (25,0 a 9,50 mm)	Tabla #67 (19,0 a 4,75 mm)
módulo de finura	7,27	6,99	6,73

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

5.3.2. Dosificación de los concretos

Se dosificaron las mezclas R1, R2 y PN de acuerdo al método de diseño ACI 211.1, con una resistencia de diseño de 350 kg/cm^2 y un revenimiento máximo de 10 cm, según el ensayo del cono de Abrams (ASTM C-143).

Cuando no se dispone de suficientes datos o registros para establecer una desviación estándar en la resistencia a compresión, se utilizan los siguientes valores promedio:

Tabla VII. **Resistencia promedio requerida en el concreto**

Resistencia a la compresión especificada f'_c (kg/cm^2)	Resistencia a la compresión requerida promedio f'_{cr}
Menos que 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 85$
Mayor a 350	$f'_c + 100$

Fuente: ACI 318-08, capítulos 5.3.1 y 5.3.2. p. 155.

5.3.2.1. Dosificación de las mezclas

La caracterización física de los agregados influye significativamente en las propiedades del concreto fresco y endurecido. El método utilizado para dosificar los concretos es el ACI 211.1, es el más utilizado en concretos convencionales debido a su simplicidad y aproximación a las proporciones óptimas de la mezcla para su buen desempeño mecánico y durabilidad.

Tabla VIII. **Resultados de la dosificación de los concretos R1, R2 y PN**

Proporciones en masa y en volumen absoluto			
Revenimiento			
10 cm			
Mezcla R1			
Vol. Abs	Material	Masa teórica	Masa práctica
		kg/m ³	kg/m ³
1:1.65:1.60	Cemento	500,00	500,00
	Arena	830,90	911,30
	Piedrín	809,10	792,70
	Agua	205,00	188,70
Mezcla R2			
Vol. Abs	Material	Masa teórica	Masa práctica
		kg/m ³	kg/m ³
1:2.30:1	Cemento	500,00	461,36
	Arena	1 168,80	1 078,60
	Piedrín	471,20	434,70
	Agua	205,00	189,70
Mezcla PN			
Vol. Abs	Material	Masa teórica	Masa práctica
		kg/m ³	kg/m ³
1:1.85:1.20	Cemento	527,00	508,00
	Arena	975,00	941,00
	Piedrín	627,00	605,00
	Agua	216,00	208,35

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

5.3.3. Concretos en estado fresco

Las características físicas de un concreto en estado fresco pueden determinar ciertas propiedades mecánicas de este en su estado endurecido. Los ensayos realizados al concreto en este estado fueron:

- Asentamiento
- Temperatura
- Peso unitario
- Contenido de aire

Estos ensayos, se realizaron en la Sección de Agregados, Concretos y Morteros del CII/USAC a las diferentes mezclas y los resultados se tabulan en la tabla IX.

Tabla IX. **Resultados de los ensayos al concreto en estado fresco**

Concreto en estado fresco	
Mezcla R1	
Proporción 1:1,65:1,60	
Asentamiento (cm)	10,00
Peso volumétrico (kg/m ³)	2 410,00
Temperatura (°C)	21,40
Contenido de aire (%)	2,70
Mezcla R2	
Proporción 1:2,30:1	
Asentamiento (cm)	4,50
Peso volumétrico (kg/m ³)	2 165,00
Temperatura (°C)	22,40
Contenido de aire (%)	4,40
Mezcla PN	
Proporción 1:1,85:1,20	
Asentamiento (cm)	10,00
Peso volumétrico (kg/m ³)	2 260,00
Temperatura (°C)	20,40
Contenido de aire (%)	1,70

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

5.3.4. Concreto endurecido

Se define como el concreto que a través del proceso de hidratación ha pasado de un estado plástico a uno sólido. A este proceso se le llama fraguado y empieza cuando el concreto pierde su plasticidad para que posteriormente se dé el fraguado final, que es cuando el concreto pasa a un estado puramente sólido, donde a partir de este estado comienza a ganar resistencia. Las propiedades más importantes del concreto endurecido son la resistencia y la durabilidad.

5.3.4.1. Resistencia a compresión

Es muy importante evaluar la resistencia a compresión del concreto elaborado, ya que teóricamente a los 28 días se cumple con la resistencia de diseño.

La resistencia a compresión de las mezclas patrones se realizaron a los 3, 7 y 28 días desde su elaboración, utilizando 3 especímenes por edad. Cada testigo o espécimen fue preparado y ensayado como se especifica en las Normas ASTM C42 y ASTM C 39M. Hay que mencionar que la Norma ASTM C 42, especifica claramente que se deben de ensayar los cilindros dentro de los 7 días después de ser extraídos, a menos que sea especificado lo contrario, y para este trabajo de investigación, se ensayaron 25 días después de la extracción de los núcleos, ya que estos debían de ser curados para cuidar la resistencia de diseño, recordar que ha realizado bajo condiciones de laboratorio e investigación.

Los núcleos que dieron resultados fuera del promedio fueron descartados para tener una representatividad absoluta.

La corrección de la resistencia a compresión se realizó de acuerdo a la relación altura-diámetro (esbeltez), como lo especifica la Norma ASTM C42.

Tabla X. **Factor de corrección de acuerdo a la relación altura/diámetro (L/D)**

L/D	Factor
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

Fuente: Norma ASTM C42. *Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.* p. 215.

Cada espécimen de concreto tendrá la siguiente referencia de acuerdo al tipo de mezcla realizada:

- R1 - (No.): concreto con ladrillo refractario como agregado grueso
- R2 – (No.): concreto con ladrillo artesanal tayuyo como agregado grueso
- PN – (No.): concreto convencional

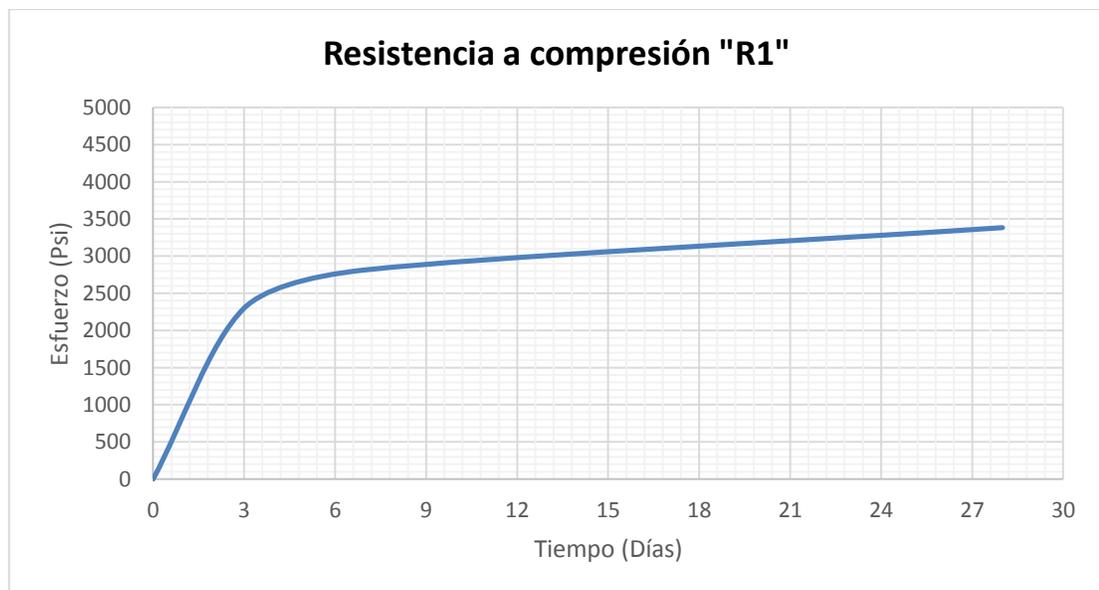
Los resultados obtenidos se describen en la tabla XI.

Tabla XI. Resultados de la resistencia a compresión de la mezcla “R1”

Núm. Cilindro	Edad (días)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura nivelada (cm)	Carga (lb)	Resistencia corregida (Psi)
R1 - 1	3	355,30	4,57	9,60	6 832,00	2 680,00
R1 - 2	3	354,50	4,57	9,11	4 849,00	1 920,00
R1 - 5	7	360,48	4,58	9,46	6 832,00	2 680,00
R1 - 6	7	364,77	4,57	9,27	7 494,00	2 950,00
R1 - 7	28	368,84	4,57	9,95	8 500,00	3 340,00
R1 - 8	28	368,73	4,57	9,72	8 800,00	3 470,00
R1 - 9	28	372,48	4,57	9,73	8 500,00	3 340,00

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

Figura 6. Gráfico de la resistencia a compresión de la mezcla “R1”



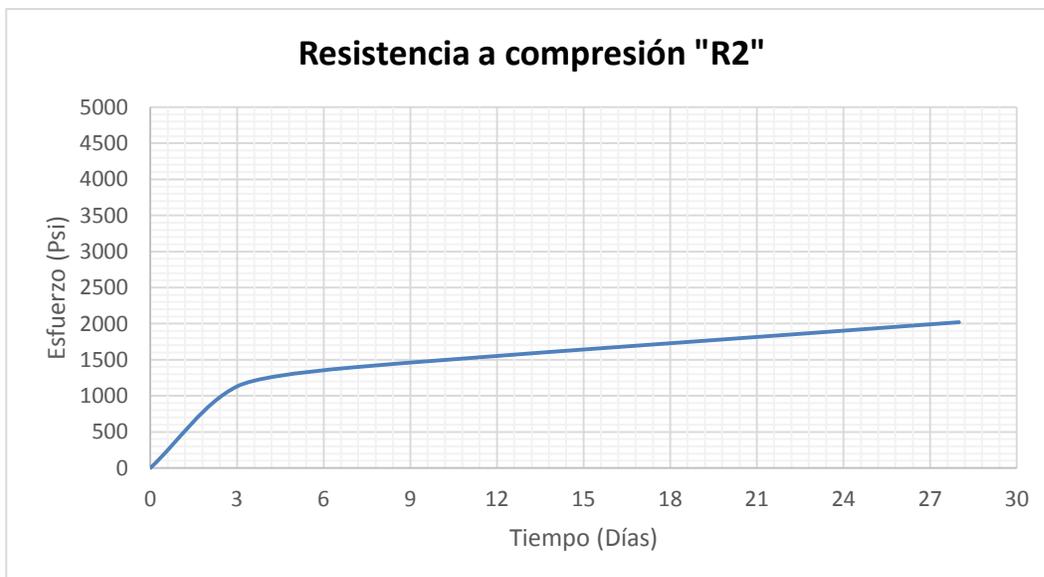
Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Resultados de la resistencia a compresión de la mezcla “R2”

Núm. Cilindro	Edad (días)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura nivelada (cm)	Carga (lb)	Resistencia corregida (Psi)
R2 - 1	3	318,63	4,57	9,58	3 400,00	1340,00
R2 - 2	3	312,58	4,57	9,43	2 500,00	990,00
R2 - 3	3	321,91	4,58	9,68	2 700,00	1060,00
R2 - 4	7	322,51	4,57	9,57	3 000,00	1180,00
R2 - 5	7	317,94	4,57	9,64	3 700,00	1450,00
R2 - 6	7	319,04	4,55	9,57	3 900,00	1550,00
R2 - 7	28	325,14	4,58	9,65	4 000,00	1570,00
R2 - 8	28	334,86	4,58	9,66	6 300,00	2470,00

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

Figura 7. Gráfico de la resistencia a compresión de la mezcla “R2”



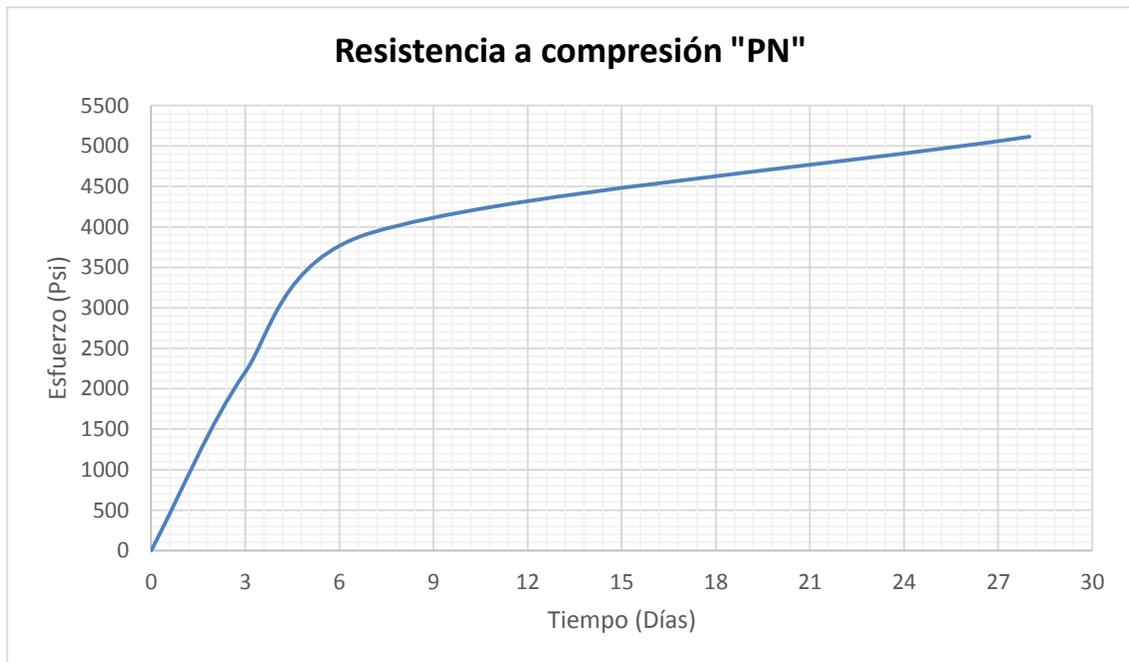
Fuente: elaboración propia

Tabla XIII. **Resultados de la resistencia a compresión de la mezcla “PN”**

No. Cilindro	Edad (días)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura nivelada (cm)	Carga (lb)	Resistencia corregida (Psi)
PN - 1	3	335,68	4,57	10,18	6 200,00	2 440,00
PN - 3	3	343,23	4,57	9,96	6 300,00	1 970,00
PN - 5	7	345,20	4,59	10,09	9 500,00	3 700,00
PN - 6	7	339,50	4,58	10,04	10 600,00	4 150,00
PN - 7	28	340,54	4,57	9,67	12 500,00	4 920,00
PN - 8	28	344,00	4,57	10,09	13 500,00	5 310,00

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

Figura 8. **Gráfico de la resistencia a compresión de la mezcla “PN”**



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Comparación de resistencias de diseño**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en los resultados, la mezcla que alcanzó mayor resistencia a compresión es la PN, la cual satisface la resistencia de diseño.

6. SOMETIMIENTO DEL CONCRETO A ALTAS TEMPERATURAS

El calor es transmitido normalmente de forma directa en el concreto cuando este se encuentra expuesto a las llamas de un incendio, o forma parte de la estructura de un horno en el que las llamas tocan directamente las paredes del mismo. Por tal motivo se ha decidido someter el concreto que se pretende sea refractario al calor directamente, para que la transmisión sea directa.

6.1. Descripción de horno utilizado

El horno en el cual fueron sometidas las muestras es artesanal, elaborado especialmente para la desintegración de la piedra caliza en la elaboración de cal.

La conformación del horno comienza por la aplicación de arcilla alrededor del área superficial del terreno para disminuir la dispersión del calor. Las rocas ya recogidas son colocadas en la calera conformando una bóveda donde se conservará el calor.

Figura 10. **Colocación de piedras calizas**



Fuente: calera El Cerrito, colonia Fátima, zona 18.

El recubrimiento se realiza con cuidado, las piedras se centran y se colocan en equilibrio para evitar derrumbes y que puedan causar daños al artesano.

Figura 11. **Conformación del recubrimiento del horno**



Fuente: calera El Cerrito, colonia Fátima, zona 18.

La bóveda se llena por completo para que el calor sea dispersado homogéneamente en todas las capas de piedra. El calor es originado por una máquina eléctrica que utiliza un motor trifásico de 10 Hp, el cual funciona 5 días y 5 noches.

Se coloca una capa de piedras calizas por encima del horno para evitar una dispersión del calor masiva, como se ve en la figura 11.

Figura 12. **Calcínación de la cal con el horno artesanal**



Fuente: calera El Cerrito, colonia Fátima, zona 18.

El horno funciona continuamente hasta una semana, llegando a alcanzar teóricamente los 900 °C, el cual es la temperatura requerida para calcinar la caliza.

6.2. Exposición del concreto al calor

El modo de transporte de calor en las probetas es el de conducción. Estas probetas fueron sometidas a altas temperaturas, que teóricamente superan los 900 °C, debido a que es la temperatura promedio necesaria para desintegrar la piedra caliza.

Las probetas fueron expuestas al calor en intervalos de tiempo de 30 minutos, llegando a alcanzar un estado de “rojo vivo”. El fin es comparar con el concreto patrón la pérdida de resistencia y efectos que el calor pueda provocar a los diferentes concretos.

6.2.1. Colocación de las probetas

Se sometieron al horno 6 probetas por mezcla, haciendo un total de 18. Estas fueron expuestas en pares a tiempos de 30, 60 y 90 minutos. Las probetas se colocaron directamente al horno junto con la piedra caliza, transfiriéndose el calor de forma directa.

Tabla XIV. **Tiempo de exposición a altas temperaturas de las probetas**

Mezcla	Tiempo (min)	Núm. probetas
PN, R1 Y R2	30	2/mezcla
PN, R1 Y R2	60	2/mezcla
PN, R1 Y R2	90	2/mezcla

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla XIV fueron sometidas a distintos intervalos de tiempo las tres mezclas. Al momento de cumplir con el tiempo

especificado, estas fueron sacadas del horno y se dejaron enfriar a temperatura ambiente.

6.3. Medición de la temperatura interna y externa con el termómetro infrarrojo

La transmisión de calor en los concretos propuestos se midió con un termómetro infrarrojo, la metodología utilizada es similar a la que se ha utilizado, sometiénolas a una temperatura constante por intervalos de tiempo y después son sometidas a tracción indirecta, midiendo así la temperatura interna y la externa con el termómetro.

6.3.1. Termómetro infrarrojo

Es capaz de medir la temperatura de superficies sin necesidad de estar en contacto con ellas, por lo que es la mejor opción para llevar a cabo este tipo de mediciones en donde no se puede realizar con termómetros convencionales. Estos termómetros, por lo general, tienen un alto rango para la medición de temperaturas.

El termómetro infrarrojo utilizado en la investigación tiene un rango de medición de -50 °C a 550 y una relación ancho: alcance (D:S) de 12:1.

Figura 13. **Termómetro infrarrojo utilizado en el ensayo**



Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

Figura 14. **Especificaciones del termómetro infrarrojo**



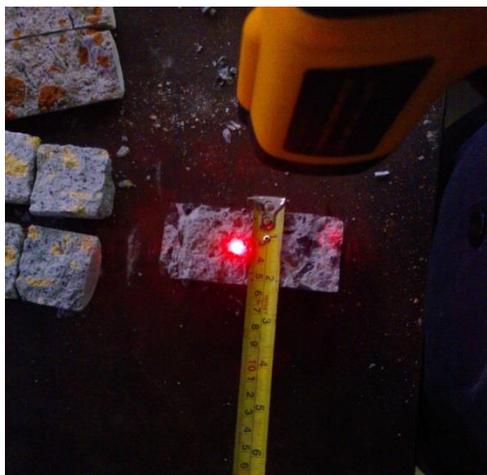
Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

El termómetro láser no determina la temperatura en un punto específico, como se piensa, sino que utiliza una relación de área: alcance para determinar esta magnitud como se observa en la figura 14. Mientras más cerca de la superficie o substancia se realiza la medición, el área de medición se reduce, y viceversa. Teniendo esto en cuenta, las mediciones se realizaron a una corta distancia de la superficie, para reducir el área de medición.

6.4. Transmisión de calor en las probetas

Se tomaron las probetas extraídas de las planchas de concreto por mezcla y fueron sometidas a una temperatura constante de 110 °C, durante intervalos de tiempo de 2, 3, 5 y 6 horas. Al cumplir su tiempo en el horno, estos fueron retirados del mismo y se les aplicó carga a lo largo del testigo, dando como resultado una tensión indirecta, esto con el objetivo de separar dos caras y poder medir así la temperatura externa y tomar temperaturas internas.

Figura 15. **Medición de la temperatura interna con el termómetro infrarrojo**



Fuente: elaboración propia con el apoyo de la Sección de Agregados, Concretos y Morteros CII/USAC.

Como se observa en la figura 14 se utilizó una cinta métrica para determinar la temperatura interna justo en el centro de la probeta.

Figura 16. **Medición de la temperatura con el termómetro infrarrojo**



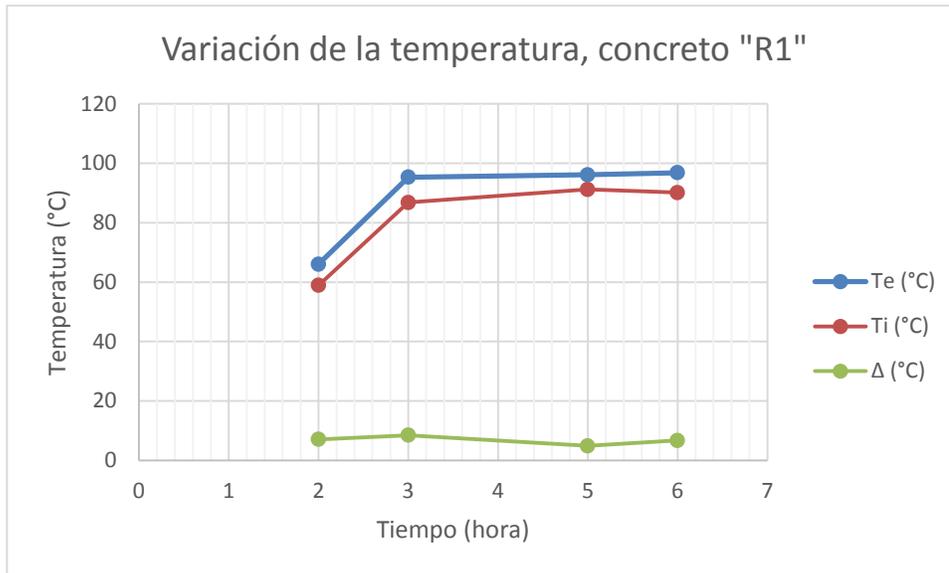
Fuente: elaboración propia con el apoyo de la Sección de Agregados, Concretos y Morteros CII/USAC.

Tabla XV. **Resultados de transmisión térmica a una temperatura de 110 °C**

2 Horas					
Mezcla	P (lb)	S(PSI)	Ti (°C)	Te (°C)	Δ (°C)
R1	5 500	495	58,90	66,00	7,10
R2	3 000	270	65,70	70,80	5,10
PN	4 500	405	83,20	84,60	1,40
3 Horas					
Mezcla	P (lb)	S(PSI)	Ti (°C)	Te (°C)	Δ (°C)
R1	4 500	405	86,80	95,30	8,50
R2	3 000	270	78,30	85,00	6,70
PN	5 000	445	90,70	97,30	6,60
5 Horas					
Mezcla	P (lb)	S(PSI)	Ti (°C)	Te (°C)	Δ (°C)
R1	4 500	405	91,20	96,10	4,90
R2	3 500	320	85,30	94,10	8,80
PN	3 000	270	90,10	100,10	10,00
6 Horas					
Mezcla	P (lb)	S(PSI)	Ti (°C)	Te (°C)	Δ (°C)
R1	3 500	320	90,10	96,80	6,70
R2	3 500	320	94,90	96,30	1,40
PN	3 000	285	93,00	100,70	1,70
Ti = temperatura interna					
Te= temperatura externa					
S = resistencia a la tensión indirecta					
Δ = diferencia entre temperatura externa e interna en °C					

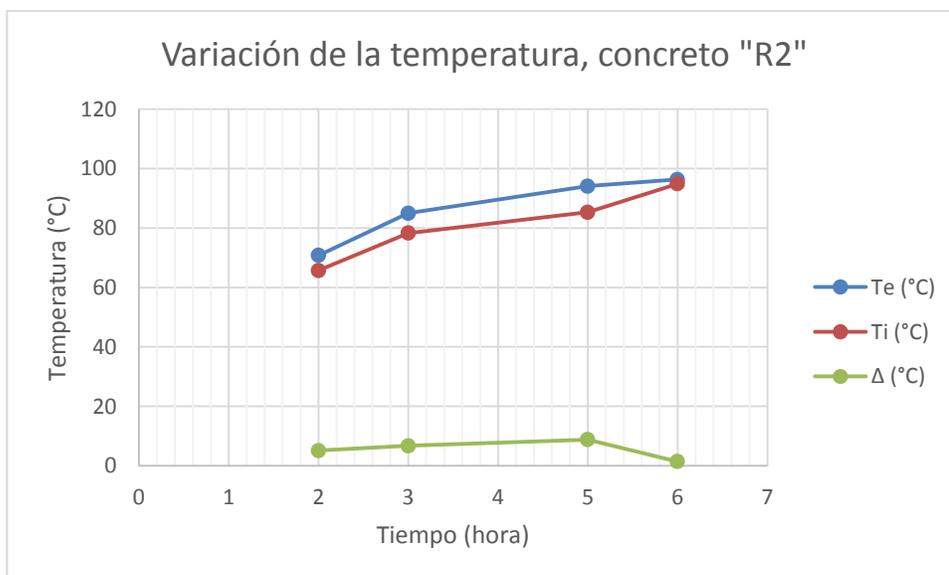
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Variación de la temperatura externa e interna de la mezcla R1**



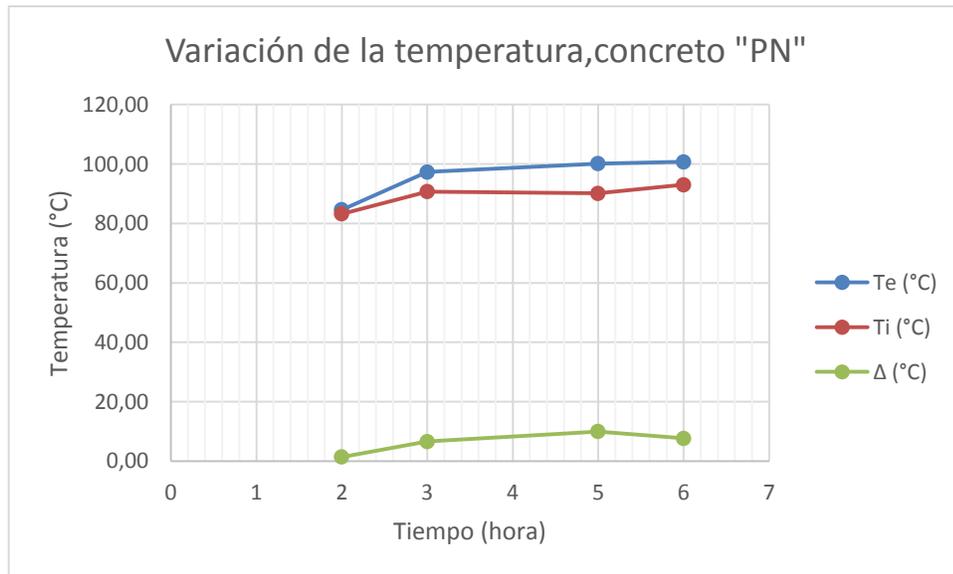
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Variación de la temperatura externa e interna de la mezcla R2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Variación de la temperatura externa e interna de la mezcla PN**



Fuente: elaboración propia.

En la mezcla dosificada con ladrillo refractario (R1) el comportamiento de la temperatura externa y la temperatura interna es similar, no existe diferencia alguna si se les compara, por lo que la transferencia térmica se da fácilmente en este concreto.

7. EVALUACIÓN DEL CONCRETO

La dilatación térmica de los agregados ante el calor determinan las pérdidas de la resistencia del concreto. Al sustituir el agregado grueso tradicional, el cual es el que predomina en el concreto por un agregado refractario, se espera que el concreto no pierda sus propiedades mecánicas en gran magnitud.

7.1. Determinación de la resistencia a compresión

Los testigos que fueron sometidos a altas temperaturas de forma directa, como se explicó en el capítulo anterior, son comparados con patrones, los cuales no fueron calentados, esto con el objetivo de analizar las pérdidas de resistencia en los mismos. Todos los testigos utilizados tienen las mismas dimensiones y fueron extraídos de las mezclas analizadas.

Los resultados de los testigos patrones son la base para evaluar si existió alguna pérdida en la resistencia del concreto.

Tabla XVI. **Resistencia de las probetas sin ser sometidas a altas temperaturas**

Núm. cilindro	Edad (Días)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura nivelada (cm)	Resistencia (Psi)
R1-10	130	347,4	4,58	9,64	6 350
R1-11	130	356,7	4,58	9,66	6 070
R2-10	130	315,8	4,58	9,64	2 190
R2-11	130	331,2	4,58	9,85	3 410
PN-10	130	334,3	4,58	9,85	4 110
PN-11	130	342,4	4,58	9,61	5 880

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

Las mezclas dosificadas con ladrillo refractario y tayuyo, como agregado grueso, presentaron un aumento significativo de la resistencia a la compresión a los 130 días comparados con su resistencia a la compresión a los 28 días. La mezcla dosificada con ladrillo refractario, como agregado grueso, tuvo un aumento de hasta el 45,57 %, Un 36,07 % para la mezcla dosificada con ladrillo tayuyo, y un bajo 0,30 % para el concreto convencional.

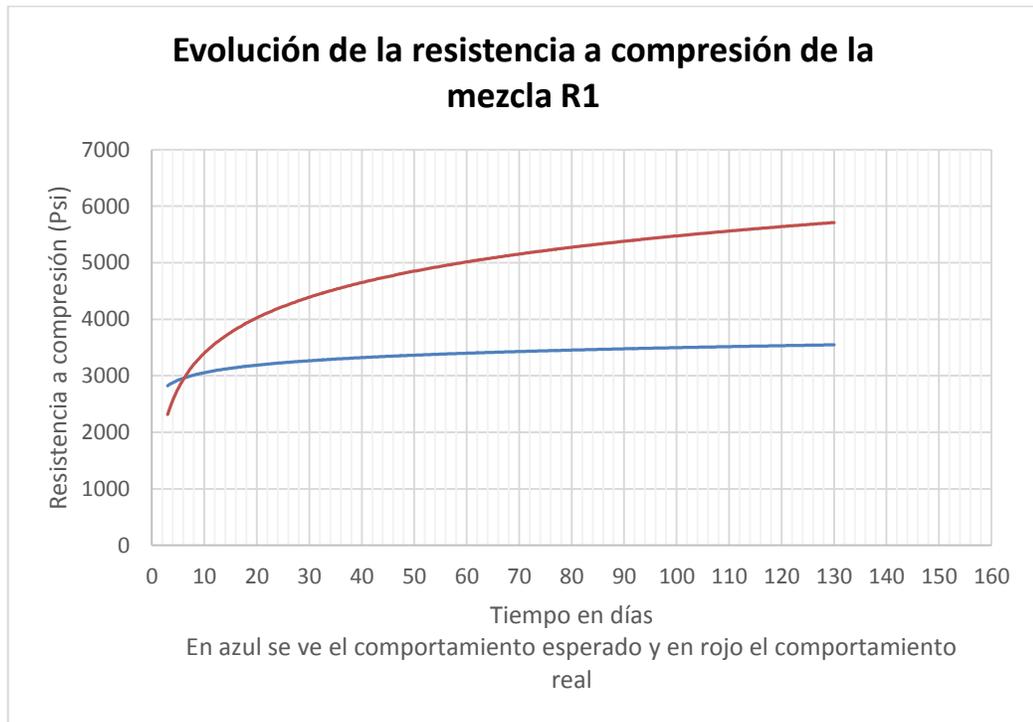
Tabla XVII. **Aumento de la resistencia a compresión a los 130 días**

Mezcla	Resistencia a compresión a los 28 días (Psi)	Resistencia a compresión a los 130 días (Psi)	Aumento de resistencia (%)
R1	3380	6210	45,57
R2	1790	2800	36,07
PN	4980	4995	0,30

Fuente: elaboración propia.

En los siguientes gráficos se observa el aumento de la resistencia a compresión de las mezclas según el tiempo en días.

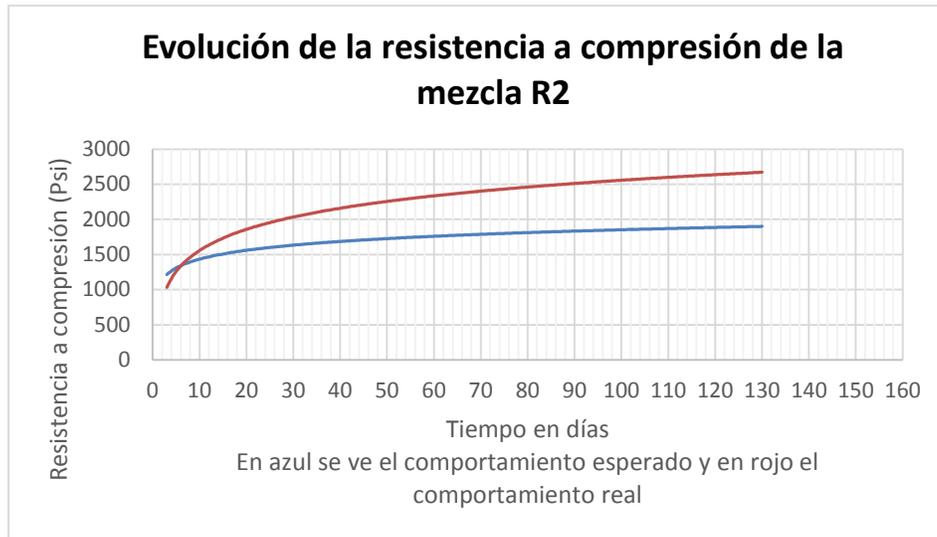
Figura 20. **Resistencia a compresión contra tiempo de la mezcla R1**



Fuente: elaboración propia.

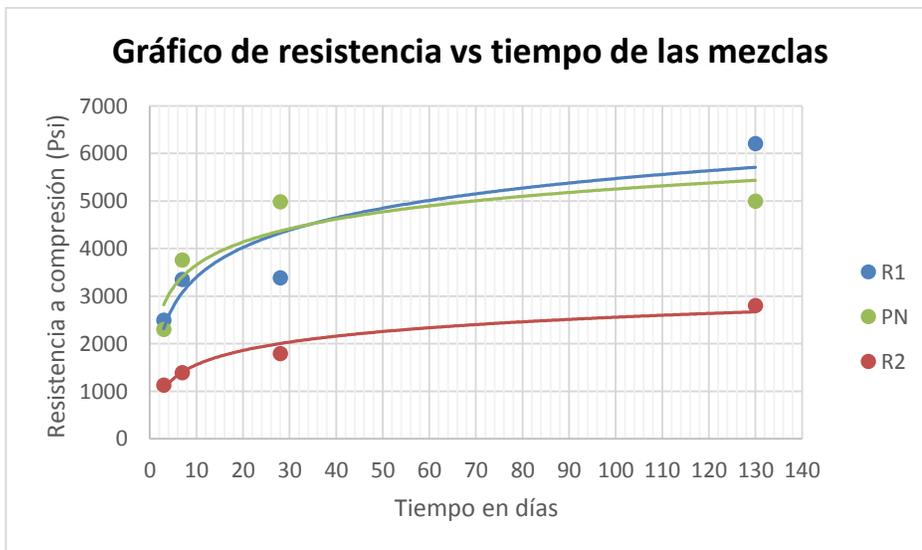
Como se puede ver el gráfico existe un aumento significativo en la resistencia a compresión con respecto al tiempo, ya que la mezcla dosificada con ladrillo refractario ha aumentado su resistencia casi el doble en 130 días, esta es la mezcla que presentó más incremento de resistencia a esta edad.

Figura 21. Resistencia a compresión contra tiempo de la mezcla R2



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Resistencias a compresión contra tiempo de las mezclas



Fuente: elaboración propia.

7.1.1. Pérdida de la resistencia a compresión

La hipótesis se fundamenta en que el concreto dosificado con ladrillo, ya sea refractario o tayuyo tenga menor pérdida de resistencia, debido al bajo coeficiente de dilatación térmica que estos poseen. A continuación se muestran los resultados de resistencia a compresión de los testigos sometidos a altas temperaturas.

Tabla XVIII. Resistencia a de la mezcla “R1” después de ser sometida a altas temperaturas

Tiempo en el horno (min)	Núm. cilindro	Edad (Días)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura nivelada (cm)	Resistencia (Psi)
30	R1-12	130	307,60	4,59	9,15	4 680
30	R1-13	130	308,30	4,59	9,12	4 840
60	R1-14	130	328,50	4,58	9,68	3 680
60	R1-15	130	332,60	4,58	9,71	3 640
90	R1-16	130	312,40	4,58	9,33	3 130
90	R1-17	130	307,30	4,58	9,27	3 450

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

Tabla XIX. **Resistencia de la mezcla “R2” después de ser sometida a altas temperaturas**

Tiempo en el horno (min)	Núm. cilindro	Edad (días)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura nivelada (cm)	Resistencia (Psi)
30	R2-12	130	283,60	4,60	9,48	2 170
30	R2-13	130	288,90	4,59	9,61	2 570
60	R2-14	130	286,80	4,58	9,93	1 920
60	R2-15	130	276,00	4,58	9,37	2 080
90	R2-16	130	273,20	4,58	9,45	1 650
90	R2-17	130	275,60	4,58	9,44	1 840

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

Tabla XX. **Resistencia del concreto convencional “PN” después de ser sometida a altas temperaturas**

Tiempo en el horno (min)	Núm. cilindro	Edad (días)	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura nivelada (cm)	Resistencia (Psi)
30	PN-12	130	311,30	4,58	9,59	3 880
30	PN-13	130	299,20	4,58	9,72	3 920
60	PN-14	130	307,70	4,58	9,54	2 550
60	PN-15	130	297,40	4,58	9,35	2 900
90	PN-16	130	307,40	4,58	9,66	2 620
90	PN-17	130	301,00	4,59	9,51	1 990

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

Los resultados de la tabla XV son comparados con los de las tablas XVII, XVIII y XIX, ya que en estos se encuentran los resultados de los concretos evaluados a la misma edad, donde una porción de la muestra de los mismos fueron sometidos a altas temperaturas y el resto no. Los resultados son los que se muestran en la tabla XXI.

Tabla XXI. **Pérdidas de resistencia a la compresión de los concretos después de ser sometidos a altas temperaturas**

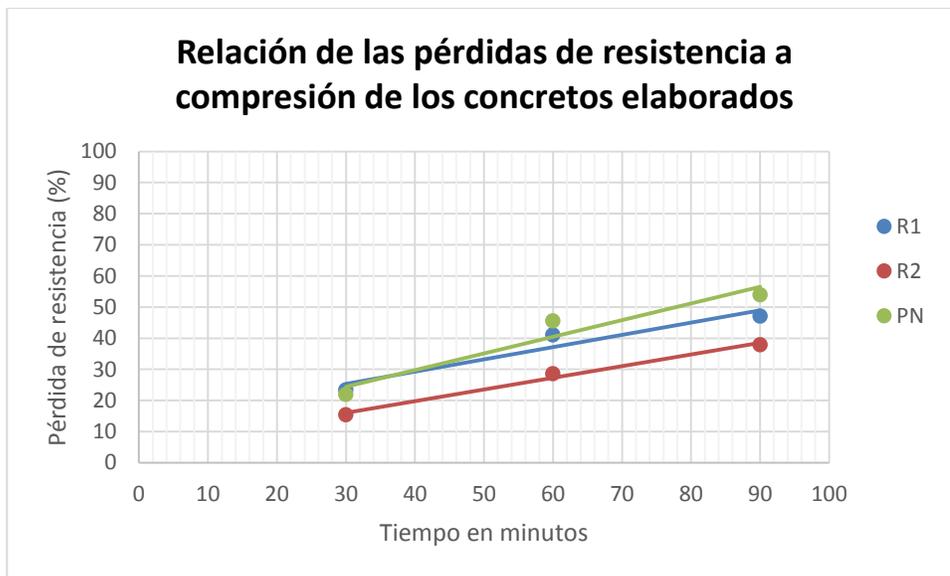
Mezcla	Resistencia antes de ser sometida a altas temperaturas (Psi)	Resistencia después de ser sometidas a altas temperaturas (Psi)	Pérdida (%)
30 minutos			
R1	6210	4760	23,35
R2	2800	2370	15,36
PN	4995	3900	21,92
60 minutos			
R1	6210	3660	41,06
R2	2800	2000	28,57
PN	4995	2720	45,55
90 minutos			
R1	6210	3290	47,02
R2	2800	1740	37,86
PN	4995	2300	53,95

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a conservar la propiedad mecánica de resistencia a compresión se trata, la mezcla R2, la cual está dosificada con ladrillo artesanal tayuyo,

como agregado grueso es la que mejor se adapta a esta condición independientemente de la máxima resistencia a compresión que esta pueda tener. Se tiene a la mezcla R1, la cual está dosificada con ladrillo puramente refractario, seguido de la mezcla PN o concreto convencional como era de esperar.

Figura 23. **Tendencia lineal de las pérdidas de resistencia a compresión**



Fuente: elaboración propia.

7.2. Dilatación térmica

Se presentó un incremento en el volumen de las partículas del pedrín usado en la mezcla estructural, mas no en las partículas de ladrillo tayuyo y ladrillo refractario. Se presentaron fracturas visibles alrededor de las partículas individuales en las probetas expuestas al calor.

La dilatación térmica es apreciable solamente en el concreto estructural, en los concretos refractarios dosificados con ladrillo tayuyo artesanal y ladrillo refractario no se presentó dilatación térmica.

No se presentó aumento o decremento significativo en las dimensiones de las probetas expuestas al calor.

7.3. Fracturas

El concreto que presentaba fracturas visibles fue el convencional “PN”. El concreto dosificado con ladrillo tayuyo y ladrillo refractario no presentó fracturas apreciables a la visión humana, como se apreciaba en el concreto estructural. Estas grietas se dieron, la mayoría, a lo largo del agregado grueso y estas terminaban en la pasta del concreto.

Las fracturas presentadas se midieron con un microscopio detector de fracturas con magnificación óptica de X40, error de medición 0,10 mm.

Figura 24. **Microscopio para detectar fracturas**



Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

Son encerradas en círculo las áreas que contienen fracturas. Como se puede observar, son varias fracturas apreciables.

Figura 25. **Medición de las fracturas con el microscopio**



Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros, CII/USAC.

A mayor tiempo de exposición al calor, mayor es el ancho de la fractura, estas tienen un largo variable debido a que se forman a lo largo del agregado grueso.

Tabla XXII. **Ancho de las fracturas en el concreto estructural “PN”**

Tiempo (min)	Ancho (mm)
30	0,10
60	0,20
90	0,60

Fuente: elaboración propia.

7.4. Aplicación de la nueva propuesta de concreto refractario

Debido a los resultados positivos en lo que respecta al concreto dosificado con ladrillo, como agregado grueso, para utilizarlo como concreto refractario, este ha sido implementado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, específicamente en una base de concreto para una caldera industrial que sería instalada en un futuro.

7.4.1. Base de concreto refractario para caldera industrial (experimental)

La propuesta de utilizar concreto refractario y no estructural en la base, es debido al temor de que el calor generado por la caldera dañe el concreto de la estructura, por lo que se optó a cambiar el agregado grueso comúnmente utilizado (pétreo) en el concreto refractario por trozos de ladrillo refractario combinado con ladrillo artesanal. El volumen de concreto refractario solicitado es de 3,5 metros cúbicos más un 10 % de desperdicio considerado. La proporción volumétrica utilizada es de 1: 1: 2, siendo un promedio de los resultados obtenidos de la mezcla dosificada con ladrillo tayuyo artesanal y la otra mezcla dosificada con ladrillo puramente refractario.

Figura 26. **Preparación y cimbrado de la base**



Fuente: edificio T-5, Facultad de Ingeniería, USAC.

El espesor del elemento es de 0,40 metros con un área aproximada de 8,75 metros cuadrados. Se colocó dos camas de malla electro soldada de 6 x 6 calibre 4,5/4,5, según el diseño proporcionado por el Departamento de Planificación de la Facultad de Ingeniería.

Figura 27. **Área a fundir con concreto refractario**



Fuente: edificio T-5, Facultad de Ingeniería, USAC.

Previo a la utilización de los agregados gruesos (ladrillo tayuyo y refractario combinado), estos fueron humedecidos para que no afecten la cantidad de agua en la proporción de la mezcla.

Figura 28. **Banco de agregados**



Fuente: edificio T-5, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 29. **Elemento fundido con concreto refractario**



Fuente: edificio T-5, Facultad de Ingeniería, USAC.

7.4.2. Pruebas de laboratorio y campo

Las pruebas realizadas al concreto refractario hecho para la caldera, ubicada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería de la USAC, consiste en la prueba de asentamiento y la resistencia a compresión.

7.4.2.1. Asentamiento

Los asentamientos promedios son de 5 y 7 centímetros. Se alcanzaron los asentamientos deseados debido a la saturación del ladrillo antes de dosificarlo en la mezcla, ya que estos contienen un porcentaje de absorción alto, lo cual demandaría más agua y se perdería el control de la cantidad de la misma, por lo que la consistencia no se mantendría uniforme a lo largo de todas las bachadas.

Figura 30. **Revenimiento del concreto para la caldera**



Fuente: edificio T-5, Facultad de Ingeniería, USAC.

7.4.2.2. Resistencia a compresión

Debido a los resultados obtenidos en laboratorio del concreto dosificado con ladrillo artesanal tayuyo y refractario, se espera que el concreto desarrolle una resistencia a la compresión de 3 000 Psi a los 28 días o más, por lo que es necesario evaluar si este concreto cumple con tal especificación. Se hicieron testigos de concreto de 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de alto durante la fundición, elaborando dos testigos por bachada aleatoria.

Figura 31. Muestreo de concreto en estado fresco



Fuente: edificio T-5, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 32. **Llenado de los testigos de concreto**



Fuente: edificio T-5, Facultad de Ingeniería, USAC.

Los resultados de resistencia a compresión a diferentes días se muestran en la tabla XXIII:

Tabla XXIII. **Resistencia a compresión a diferentes edades del concreto utilizado en la base de la caldera del Laboratorio de Operaciones Unitarias en la Facultad de Ingeniería, USAC**

Edad	Esfuerzo (Psi)	Fractura
3	1 870	E
10	2 470	E
17	2 295	E
38	2 880	E

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros CII/USAC.

Según los resultados de laboratorio, a los 38 días se alcanzó una resistencia a la compresión de 2 880 Psi, la cual es un 4 % menor a la resistencia esperada que es de 3 000 Psi, pero dado a su capacidad de aumentar la resistencia conforme avanza el tiempo, se espera que llegue a los 3 000 Psi sin ningún problema en menos de tres meses, tal y como sucedió con los concretos patrones del laboratorio, los cuales aumentaron hasta un 45 % su resistencia a compresión.

CONCLUSIONES

1. La eficiencia de los residuos de ladrillo refractario en la elaboración de concreto refractario es mayor con respecto a la utilización de agregado de origen pétreo, debido a la alta capacidad para soportar altas temperaturas sin afectar significativamente las propiedades mecánicas y asimismo, las características físicas del mismo como las fracturas visibles.
2. Los concretos dosificados con residuos de ladrillo de barro cocido no alcanzan a los 28 días su resistencia de diseño, pero estos pueden aumentar 40 % de resistencia a compresión que tienen a esta edad en un rango de 100 días, llegando de esta forma a su resistencia de diseño, como es el caso del concreto dosificado con residuos de ladrillo refractario, el cual aumentó 45 % su resistencia a compresión con respecto a la que poseía a los 28 días. El concreto dosificado con residuos de ladrillo tayuyo artesanal aumentó 36 % su resistencia a la compresión bajo las mismas condiciones, a diferencia del concreto convencional, el cual no aumenta considerablemente su resistencia. Las bajas resistencias del concreto refractario dosificado con residuos de ladrillo de barro cocido a los 28 días es por la poca compresibilidad de los agregados gruesos.
3. La pérdida de resistencia a la compresión del concreto con respecto al tiempo, el cual este es sometido a altas temperaturas tiene un comportamiento totalmente lineal. El concreto que tuvo menor pérdida de resistencia a la compresión después de ser sometido a altas

temperaturas es el dosificado con ladrillo tayuyo artesanal, el cual tuvo una pérdida máxima de 38 % aproximadamente, seguido el concreto dosificado con ladrillo refractario con 48 %, y por último, pero con una diferencia mínima, el concreto convencional tuvo una pérdida aproximada de 54 %.

4. El concreto dosificado con residuos de ladrillo refractario es mejor para reducir la transmisión del calor. Dicho de forma general, el concreto dosificado con materiales cerámicos en este caso el ladrillo de barro cocido, es mejor en la reducción de la transmisión del calor con respecto al concreto convencional.
5. A diferencia del concreto refractario, las fracturas son un problema en el concreto convencional al aplicar un calor intenso. Estas fracturas son muy visibles aún para elementos con dimensiones pequeñas. Estas fracturas son proporcionales al tamaño del elemento y al tiempo que permanecen calientes, por lo que es evidente que la dilatación térmica de los agregados de origen pétreo son los causantes de estas fracturas, ya que la mayoría se forman alrededor de las partículas de estos. Este es un factor imprescindible en la pérdida de la resistencia a la compresión del concreto.
6. Debido a los ensayos satisfactorios en la sustitución de los residuos de ladrillo por agregado pétreo se puede realizar cuando se requiera cuidar de la resistencia del concreto ante el calor, reducir las fracturas causadas por la dilatación térmica, y siempre que se requiera una resistencia a compresión promedio de 3 000 Psi. La selección del tipo de ladrillo a utilizar depende de los factores de resistencia, nivel de exposición al calor y el costo. La implementación de esta técnica se dio en la Facultad

de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, para la fundición de una base para una caldera, dando resultados de resistencia similares a las obtenidas en laboratorio.

RECOMENDACIONES

1. Debido a las bajas resistencias a los 28 días es necesaria la utilización de un cemento de alta resistencia o cemento estructural, ya que con esto se reduce la cantidad de cemento y mejora la resistencia real del concreto refractario.
2. Antes de dosificar el concreto refractario con los residuos de ladrillo refractarios, estos se deben saturar para disminuir el porcentaje de absorción que poseen y no afectar en gran magnitud la cantidad de agua de diseño.
3. Utilizar residuos de ladrillo tayuyo artesanal en elementos no estructurales, en donde la resistencia a compresión no es importante y con una baja exposición al calor.
4. La mejor opción es la utilización del ladrillo refractario como agregado grueso, ya que este conserva y aumenta su resistencia a compresión y tiene resistencia a las altas temperaturas moderadamente.
5. Si se utiliza cemento de alta resistencia inicial en estos concretos se debe controlar el calor de hidratación, ya que este puede ocasionar daños al concreto.

BIBLIOGRAFÍA

1. DE LEÓN ESCOBAR, Enrique. *Evaluación técnica y económica del uso de cemento mezclado (70 % cemento portland + 30 % escoria de horno) en la elaboración de productos ornamentales de concreto*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2007. 72 p.
2. Comisión Guatemalteca de Normas. *Norma técnica guatemalteca NTG-41007 (ASTM C-33) Especificación estándar de agregados para concreto*. Guatemala: Coguanor, 2010. 159 p.
3. _____. *Norma técnica guatemalteca. NTG-41017h1 (ASTM C-39) método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Guatemala: Coguanor, 2010. 130 p.
4. _____. *Norma técnica guatemalteca. NTG-41017h5 (ASTM C-138) método de prueba estándar para determinar el peso unitario del concreto*. Guatemala: Coguanor, 2010. 160 p.
5. _____. *Norma técnica guatemalteca. NTG-41017h4 (ASTM C-143) método de prueba estándar para el asentamiento del concreto*. Guatemala: Coguanor, 2010. 115 p.
6. _____. *Norma técnica guatemalteca. NTG-41017h7 (ASTM C-231) método de prueba estándar para el contenido de aire del concreto*

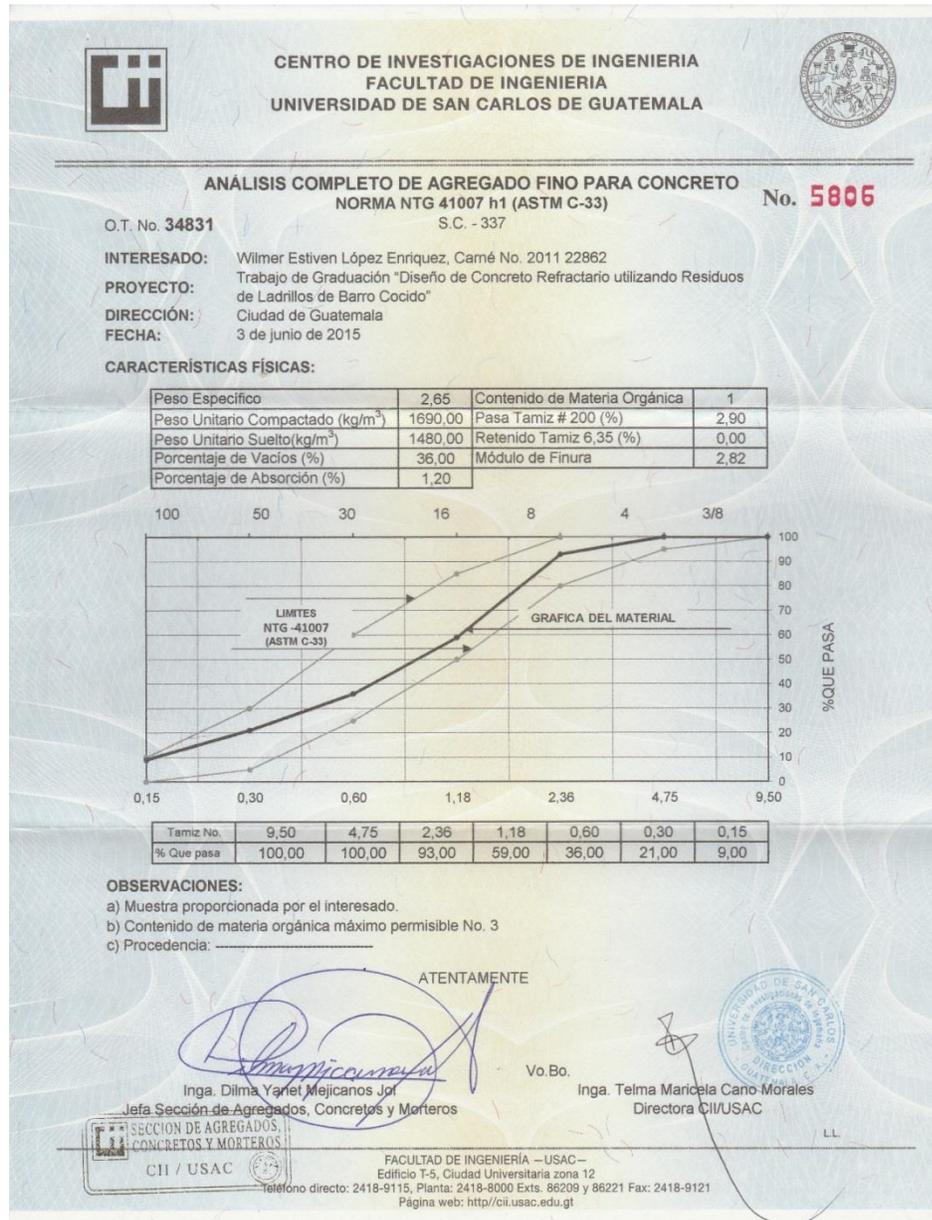
recién mezclado por el método de presión. Guatemala: Coguanor, 2010. 79 p.

7. _____. *Norma técnica guatemalteca. NTG-41017h15 (ASTM C-496) método de ensayo. Determinación de la resistencia a tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto.* Guatemala: Coguanor, 2010. 185 p.
8. _____. *Norma técnica guatemalteca. NTG-41049 (ASTM C-42) método de ensayo. Obtención y ensayo de núcleos perforados y vigas aserradas de concreto.* Guatemala: Coguanor, 2010. 55 p.
9. _____. *Norma Técnica Guatemalteca. NTG-41060 (ASTM C-192) práctica estándar para la preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en laboratorio.* Guatemala: Coguanor, 2010. 89 p.
10. _____. *Norma Técnica Guatemalteca. NTG-41064 (ASTM C-617) práctica para el cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto.* Guatemala: Coguanor, 2010. 20 p.
11. _____. *Norma técnica guatemalteca. NTG-41053 (ASTM C-1064) método de prueba estándar para la medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado.* Guatemala: Coguanor, 2010. 70 p.
12. Reporte del Comité 221 del ACI. *Guía para uso de agregados ACI 221.R-01.* Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. México: 2004. 46 p.

13. LÓPEZ CRUZ, José Alberto. *Propiedades mecánicas del concreto modificado a base de fibras de nylon y polipropileno para su uso en elementos estructurales*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2014. 152 p.
14. NEVILLE, Adam M. *Tecnología del concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. México D.F.: 1999. 460 p.
15. SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. 2a ed. Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. México.:2014. 293 p.
16. SMITH, William F.; HASHEMI, Javad. *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. 4a ed. México: McGraw-Hill Interamericana 2004. 1036 p.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis completo de agregado fino para concreto



Continuación del anexo 1.



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



ANALISIS COMPLETO DE AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO
NORMA NTG 41007 h1 (ASTM C-33)
INFORME No. S.C. - 339
HOJA 1/1

No. 5808

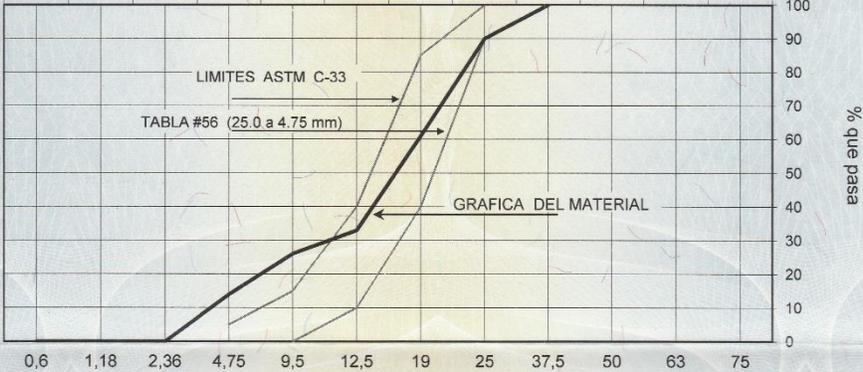
O.T. No. 34832

INTERESADO: Wilmer Estiven López Enriquez, Carné No. 2011-22862
PROYECTO: Trabajo de graduacion "Diseño de concreto refractario utilizando residuos de ladrillo de barro cocido"
DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala.
FECHA: 3 de junio de 2015.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Peso Especifico	1,88	Pasa Tamiz # 200 (%)	7,30
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	890,00	Porcentaje de Vacios (%)	53,00
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	760,00	Modulo de Finura	6,99
Porcentaje de absorción	27,70		

No.30 No.16 No.8 No.4 3/8" 1/2" 3/4" 1" 1 1/2" 2" 2 1/2" 3"



Tamaño en milímetros

Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16
% Que pasa	100,0	90,00	61,00	33,00	26,00	14,00	0,00	0,00

OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado.
b) Muestra identificada como: Ladrillo tayuyo triturado artesanalmente.

ATENTAMENTE,



Inga Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



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

16.

Continuación del anexo 1.



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



O.T. No. 34832

INTERESADO: Wilmer Estiven López Enriquez, Carné No. 2011-22862

PROYECTO: Trabajo de graduación "Diseño de concreto refractario utilizando residuos de ladrillo de barro cocido"

DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala.

FECHA: 3 de junio de 2015.

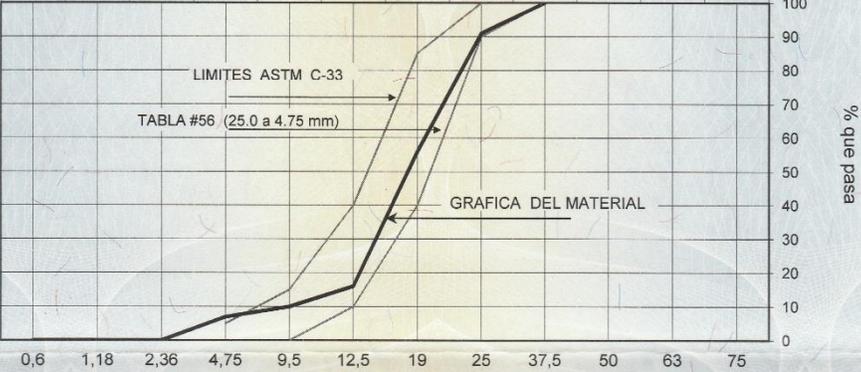
ANALISIS COMPLETO DE AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO
NORMA NTG 41007 h1 (ASTM C-33)
 INFORME No. S.C. - 340
 HOJA 1/1

No. 5809

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Peso Especifico	2,69	Pasa Tamiz # 200 (%)	0,20
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	1 420,00	Porcentaje de Vacíos (%)	47,00
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1 300,00	Modulo de Finura	7,27
Porcentaje de absorción	8,00		

No.30 No.16 No.8 No.4 3/8" 1/2" 3/4" 1" 1 1/2" 2" 2 1/2" 3"



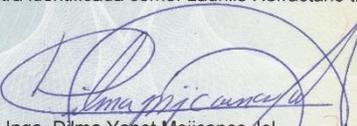
Tamaño en milímetros

Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16
% Que pasa	100,0	91,00	56,00	16,00	10,00	7,00	0,00	0,00

OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado.

b) Muestra identificada como: Ladrillo Refractario triturado artesanalmente.



INGA DILMA YANET MEJICANOS
 Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.



INGA TELMA MARICELA CANO MORALES
 Directora CII/USAC

SECCION DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

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

Continuación del anexo 1.



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



ANÁLISIS COMPLETO DE AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO **No. 5810**
NORMA NTG 41007 h1 (ASTM C-33)
 INFORME No. S.C. -341
 HOJA 1/1

O.T. No. 34832

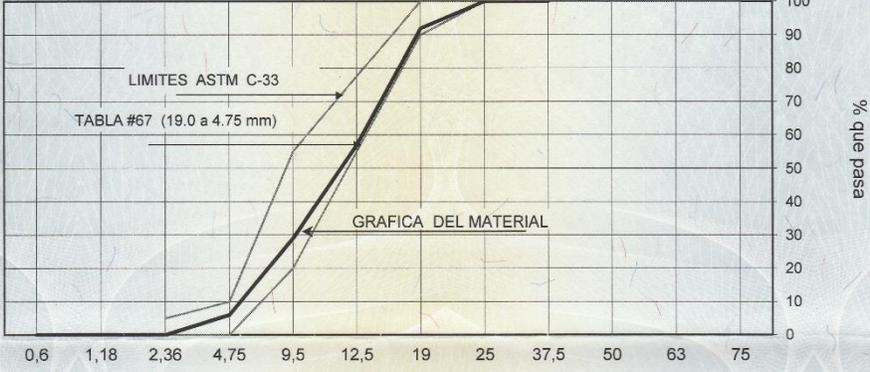
INTERESADO:
PROYECTO:
DIRECCIÓN:
FECHA:

Wilmer Estiven López Enriquez, Carné No. 2011-22862
 Trabajo de graduación "Diseño de concreto refractario utilizando residuos de ladrillo de barro cocido"
 Ciudad de Guatemala.
 3 de junio de 2015.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Peso Especifico	2,45	Pasa Tamiz # 200 (%)	2,60
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	1270,00	Porcentaje de Vacíos (%)	48,00
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1040,00	Modulo de Finura	6,73
Porcentaje de absorción	2,70		

No.30 No.16 No.8 No.4 3/8" 1/2" 3/4" 1" 1 1/2" 2" 2 1/2" 3"



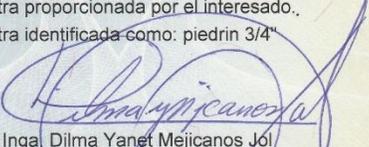
Tamaño en milímetros

Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16
% Que pasa	100,0	100,00	92,00	57,00	29,00	6,00	0,00	0,00

OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado.
 b) Muestra identificada como: piedrin 3/4"

ATENTAMENTE,



Inga Dilma Yanet Mejicanos Jol
 Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
 Directora CII/USAC



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

i.c.

Continuación del anexo 1.



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



DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO
INFORME No. S.C. 345

No. 5814

O.T. No. 34833

INTERESADO: Wilmer Estiven López Enriquez, Carné N° 201122862

PROYECTO: Trabajo de graduación "Diseño de Concreto Refractario Utilizando Residuos de Ladrillos de Barro Cocido

DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala

FECHA: 04 de junio de 2015.

1. GENERALIDADES

1.1 El interesado proporcionó el material y solicitó a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y agregado grueso, para realizar un diseño teórico de mezcla de 5 000 psi (350 kg/cm²), con cemento UGC.

2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. - 337

2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. - 339

3. DISEÑO DE MEZCLA

3.1 Resistencia Nominal 350 kg/cm²

3.2 Resistencia Promedio Requerida 420 kg/cm²

3.3 Relación Agua/Cemento 0,41

3.4 Asentamiento: 2.5 - 7.5 cm (1" - 2 3/4")

3.5 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m ³)
CEMENTO	1	1 SACO	500
ARENA	2.34	67.20	1168.8
LADRILLO TAYUYO	0.94	44.89	471.2
AGUA LIBRE	0,41	17,43	205

4. RECOMENDACIONES

4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.

4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.

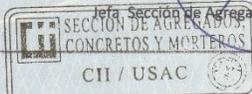
4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.

4.4 Utilizar aditivo, que mejore las condiciones del diseño de mezcla.

Atentamente,



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa, Sección de Agregados, Concretos y Morteros





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



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

Continuación del anexo 1.



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



DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO
INFORME No. S.C. 344

No. 5813

O.T. No. 34833

INTERESADO: Wilmer Estiven López Enriquez, Carné N° 201122862

PROYECTO: Trabajo de graduación "Diseño de Concreto Refractario Utilizando Residuos de Ladrillos de Barro Cocido"

DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala

FECHA: 05 de junio de 2015.

1. GENERALIDADES

1.1 El interesado proporcionó el material y solicitó a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y agregado grueso, para realizar un diseño teórico de mezcla de 5 000 psi (350 kg/cm²), con cemento UGC.

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. - 337

2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. - 340

3. DISEÑO DE MEZCLA

3.1 Resistencia Nominal 350 kg/cm²

3.2 Resistencia Promedio Requerida 420 kg/cm²

3.3 Relación Agua/Cemento 0,41

3.4 Asentamiento: 2.5 – 7.5 cm (1" - 2 3/4")

3.5 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m ³)
CEMENTO	1	1 SACO	500
ARENA	1,66	47,67	830,9
LADRILLO REFRACTARIO	1,61	48,19	809,1
AGUA LIBRE	0,41	17,43	205

4. RECOMENDACIONES

4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.

4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.

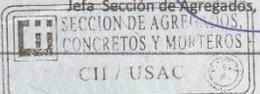
4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.

4.4 Utilizar aditivo, que mejore las condiciones del diseño de mezcla.

Atentamente,



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jól
Jefa - Sección de Agregados, Concretos y Morteros





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



E.R.

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

Continuación del anexo 1.



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



DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO
INFORME No. S.C. 346

No. 5815

O.T. No. 34833
INTERESADO: Wilmer Estiven López Enriquez, Carné N° 201122862
PROYECTO: Trabajo de graduación "Diseño de Concreto Refractario Utilizando Residuos de Ladrillos de Barro Cocido"
DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala
FECHA: 05 de junio de 2015.

1. GENERALIDADES
 1.1 El interesado proporcionó el material y solicitó a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y agregado grueso, para realizar un diseño teórico de mezcla de 5 000 psi (350 kg/cm²), con cemento UGC.

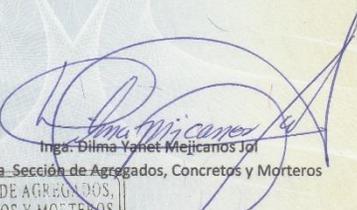
2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS
 2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. - 337
 2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. - 341

3. DISEÑO DE MEZCLA
 3.1 Resistencia Nominal 350 kg/cm²
 3.2 Resistencia Promedio Requerida 420 kg/cm²
 3.3 Relación Agua/Cemento 0,41
 3.4 Asentamiento: 2.5 – 7.5 cm (1" - 2 3/4")
 3.5 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m ³)
CEMENTO	1	1 SACO	527
ARENA	1.85	53.13	975
PIEDRIN / GRAVA	1.25	41.83	627
AGUA LIBRE	0.41	17.43	216

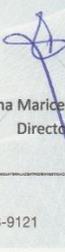
4. RECOMENDACIONES
 4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.
 4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.
 4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.
 4.4 Utilizar aditivo, que mejore las condiciones del diseño de mezcla.

Atentamente,



Inga. Dilma Yohet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



SECCION DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

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



Continuación del anexo 1.



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE NÚCLEO DE CONCRETO **No. 6289**
NORMA ASTM C- 42
 S.C.- 573
 HOJA 1/3

O.T. No. 34834

INTERESADO: Wilmer Estiven López Enríquez, Carné No. 2011 22862.

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Diseño de Concreto Refractario Utilizando Residuos de Ladrillos de Barro Cocido".

DIRECCION: Ciudad de Guatemala.

FECHA: 22 de septiembre de 2015.

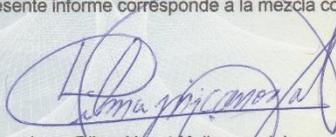
I.- RESULTADOS

TESTIGO	NÚCLEO DE CONCRETO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	EDAD en días	PESO g	DIÁMETRO cm	ALTURA cm	ALTURA NIVELADA cm	CARGA lbs	ESFUERZO Mpa	ESFUERZO Psi
1	Diseño de mezcla	3	355,30	4,57	9,15	9,60	6 834	18,50	2 680
2	Diseño de mezcla	3	354,50	4,57	9,11	9,55	4 850	13,20	1 920
3	Diseño de mezcla	3	357,60	4,57	9,16	9,70	7 297	19,80	2 870
4	Diseño de mezcla	7	355,20	4,58	9,17	9,44	11 244	30,40	4 410
5	Diseño de mezcla	7	360,48	4,58	9,14	9,46	6 834	18,50	2 680
6	Diseño de mezcla	7	364,77	4,57	9,23	9,27	7 496	20,30	2 950
7	Diseño de mezcla	28	368,84	4,57	9,30	9,95	8 500	23,00	3 340
8	Diseño de mezcla	28	368,73	4,57	9,28	9,72	8 800	23,90	3 470
9	Diseño de mezcla	28	372,48	4,57	9,19	9,73	8 500	23,00	3 340

II.- OBSERVACIONES

- Núcleos extraídos en laboratorio.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 60 000 lbs.
- Núcleos cabeceados según norma ASTM C-617.
- Asentamiento de mezcla: 10 cm.
- Peso unitario: 2 410,0 Kg/m³.
- Contenido de aire: 2,70 %.
- Temperatura: 21,4 °C.
- Proporción utilizada: **1 : 1,66 : 1,61 : 0,41**
- El presente informe corresponde a la mezcla con agregado de ladrillo refractario.

ATENTAMENTE,

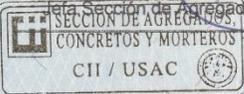


Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo. Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



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

Continuación del anexo 1.



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



**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE NÚCLEO DE CONCRETO
NORMA ASTM C- 42**

S.C.- 573

HOJA 2/3

No. 6290

O.T. No. 34834

INTERESADO: Wilmer Estiven López Enríquez, Carné No. 2011 22862.

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Diseño de Concreto Refractario Utilizando Residuos de Ladrillos de Barro Cocido".

DIRECCION: Ciudad de Guatemala.

FECHA: 22 de septiembre de 2015.

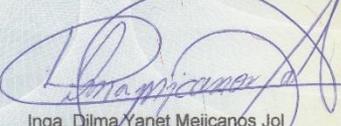
I.- RESULTADOS

TESTIGO	NÚCLEO DE CONCRETO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	EDAD en días	PESO g	DIÁMETRO cm	ALTURA cm	ALTURA NIVELADA cm	CARGA lbs	ESFUERZO Mpa	ESFUERZO Psi
1	Diseño de mezcla	3	318,63	4,57	9,16	9,58	3 400	9,20	1 340
2	Diseño de mezcla	3	312,58	4,57	9,11	9,43	2 500	6,80	990
3	Diseño de mezcla	3	321,91	4,58	9,25	9,68	2 700	7,30	1 060
4	Diseño de mezcla	7	322,51	4,57	9,22	9,57	3 000	8,10	1 180
5	Diseño de mezcla	7	317,94	4,57	9,13	9,64	3 700	10,00	1 450
6	Diseño de mezcla	7	319,04	4,55	9,15	9,57	3 900	10,70	1 550
7	Diseño de mezcla	28	325,14	4,58	9,35	9,65	4 000	10,80	1 570
8	Diseño de mezcla	28	334,86	4,58	9,30	9,66	6 300	17,00	2 470
9	Diseño de mezcla	28	321,18	4,57	9,23	9,49	3 400	9,20	1 340

II.- OBSERVACIONES

- a) Núcleos extraídos en laboratorio.
- b) Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.
- c) Dial utilizado para lectura de cargas: 60 000 lbs.
- d) Núcleos cabeceados según norma ASTM C-617.
- e) Asentamiento de mezcla: 4,5 cm.
- f) Peso unitario: 2 170,0 Kg/m³.
- g) Contenido de aire: 4,4 %.
- h) Temperatura: 22,4 °C.
- i) Proporción utilizada: **1 : 2,34 : 0,94 : 0,41**
- j) El presente informe corresponde a la mezcla con agregado de ladrillo tayuyo.

ATENTAMENTE,

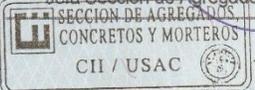


Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo. Bo.



Inga. Telma Matricula Cano Morales
Directora CII/USAC



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

Continuación del anexo 1.



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



**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE NÚCLEO DE CONCRETO
NORMA ASTM C- 42**

S.C.- 573

HOJA 3/3

No. 6291

O.T. No. 34834

INTERESADO: Wilmer Estiven López Enríquez, Camé No. 2011 22862.

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Diseño de Concreto Refractario Utilizando Residuos de Ladrillos de Barro Cocido".

DIRECCION: Ciudad de Guatemala.

FECHA: 22 de septiembre de 2015.

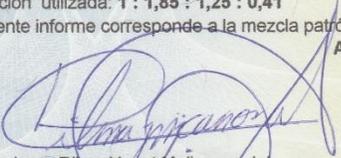
I.- RESULTADOS

TESTIGO	NÚCLEO DE CONCRETO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	EDAD en días	PESO g	DIÁMETRO cm	ALTURA cm	ALTURA NIVELADA cm	CARGA lbs	ESFUERZO Mpa	ESFUERZO Psi
1	Diseño de mezcla	3	335,68	4,57	9,58	10,18	6 200	16,80	2 440
2	Diseño de mezcla	3	330,48	4,57	9,31	9,89	5 000	13,60	1 970
3	Diseño de mezcla	3	343,23	4,57	9,35	9,96	6 300	17,10	2 480
4	Diseño de mezcla	7	340,20	4,59	9,15	9,78	8 800	23,70	3 440
5	Diseño de mezcla	7	345,20	4,59	9,21	10,09	9 500	25,50	3 700
6	Diseño de mezcla	7	339,50	4,58	9,08	10,04	10 600	28,60	4 150
7	Diseño de mezcla	28	340,54	4,57	9,14	9,67	12 500	33,90	4 920
8	Diseño de mezcla	28	344,00	4,57	9,21	10,09	13 500	36,60	5 310
9	Diseño de mezcla	28	340,17	4,57	9,17	9,96	12 000	32,50	4 720

II.- OBSERVACIONES

- a) Núcleos extraídos en laboratorio.
- b) Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.
- c) Dial utilizado para lectura de cargas: 60 000 lbs.
- d) Núcleos cabeceados según norma ASTM C-617.
- e) Asentamiento de mezcla: 10 cm.
- f) Peso unitario: 2 260,0 Kg/m³.
- g) Contenido de aire: 1,7 %.
- h) Temperatura: 20,4 °C.
- i) Proporción utilizada: **1 : 1,85 : 1,25 : 0,41**
- j) El presente informe corresponde a la mezcla patrón.

ATENTAMENTE,



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jo
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo. Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



SECCION DE AGREGADOS
CONCRETOS Y MORTEROS
CII/USAC

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

Continuación del anexo 1.



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



**INFORME DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE NÚCLEO DE CONCRETO No. 6394
NORMA ASTM C- 42**

O.T. No. 34835

S.C. - 665

HOJA 1/2

INTERESADO: Wilmer Estiven López Enriquez, Camé No. 2011-22862

PROYECTO: Trabajo de graduación "Diseño de Concreto Refractario Utilizando Residuos de Ladrillos de Barro Cocido".

DIRECCION: Ciudad de Guatemala.

FECHA: 4 de Noviembre de 2015

I.- RESULTADOS

TESTIGO	DIAS DESPUES DE EXTRACCIÓN	PESO g	DIÁMETRO cm	ALTURA cm	ALTURA NIVELADA cm	CARGA Lbs.	ÁREA cm ²	FACTOR DE CORRECCIÓN	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	3	355,30	4,570	9,150	9,600	6834	16,403	1	18,50	2 680
2	3	354,50	4,570	9,110	9,550	4850	16,403	1	13,20	1 920
3	3	357,60	4,570	9,160	9,700	7297	16,403	1	19,80	2 870
4	7	355,20	4,580	9,170	9,440	11244	16,475	1	30,40	4 410
5	7	360,48	4,580	9,140	9,460	6834	16,475	1	18,50	2 680
6	7	350,40	4,560	9,100	9,360	6500	16,331	1	17,70	2 570
7	7	364,77	4,570	9,230	9,270	7496	16,403	1	20,30	2 950
8	28	368,84	4,570	9,300	9,950	8500	16,403	1	23,00	3 340
9	28	368,73	4,570	9,280	9,720	8800	16,403	1	23,90	3 470
10	28	372,48	4,570	9,190	9,730	8500	16,403	1	23,00	3 340
11	130	347,40	4,580	8,880	9,850	16200	16,475	1	43,70	6 340
12	130	345,00	4,560	8,460	8,890	14500	16,331	1	39,50	5 730
13	130	356,70	4,580	9,150	9,610	15500	16,475	1	41,80	6 070

Continuación del anexo 1.



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



No. 6395

**INFORME DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE NÚCLEO DE CONCRETO
NORMA ASTM C- 42**

O.T. No. 34835 S.C. - 665

HOJA 2/2

INTERESADO: Wilmer Estiven López Enriquez, Carné No. 2011-22862

PROYECTO: Trabajo de graduación "Diseño de Concreto Refractario Utilizando Residuos de Ladrillos de Barro Cocido".

DIRECCION: Ciudad de Guatemala.

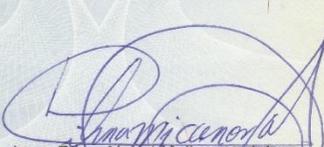
FECHA: 4 de Noviembre de 2015

TESTIGO	DIAS DESPUES DE EXTRACCIÓN	PESO g	DIÁMETRO cm	ALTURA cm	ALTURA NIVELADA cm	CARGA Lbs.	ÁREA cm ²	FACTOR DE CORRECCIÓN	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
14	130	307,60	4,590	8,630	9,150	12000	16,547	1	32,30	4 690
15	130	308,30	4,590	8,700	9,120	12400	16,547	1	33,30	4 830
16	130	328,50	4,580	9,210	9,680	9400	16,475	1	25,40	3 690
17	130	332,60	4,580	9,260	9,710	9300	16,475	1	25,10	3 640
18	130	330,54	4,600	9,200	9,300	9800	16,619	1	26,20	3 800
19	130	312,40	4,580	8,910	9,330	8000	16,475	1	21,60	3 130
20	130	307,30	4,580	8,970	9,270	8800	16,475	1	23,80	3 450

II.- OBSERVACIONES

a) Núcleos extraído de planchas de concreto de 1,50 x 1,50 x 0,50 m.
 b) Norma aplicada ASTM C-42
 c) Núcleos extraídos el: 11 de Junio de 2015
 d) Núcleos sumergidos para curado de concreto.
 e) Núcleos de concreto con LADRILLO REFRACTARIO.
 f) Los testigos del 14 al 20 fueron sometidos a altas temperaturas(900°C)
 g) Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 libras, dial utilizado de 60 000 libras.

ATENTAMENTE,



Inga. Dilma Yañez Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo. Bo.



Telma Maridela Cano Morales
Directora CII/USAC

SECCION DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

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

Continuación del anexo 1.



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



**INFORME DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE NÚCLEO DE CONCRETO
NORMA ASTM C- 42**

No. 6396

O.T. No. 34835

INTERESADO: Wilmer Estiven López Enriquez, Carné No. 2011-22862

PROYECTO: Trabajo de graduación "Diseño de Concreto Refractario Utilizando Residuos de Ladrillos de Barro Cocido".

DIRECCION: Ciudad de Guatemala.

FECHA: 4 de Noviembre de 2015

S.C. - 666

HOJA 1/2

I.- RESULTADOS

TESTIGO	DIAS DESPUES DE EXTRACCIÓN	PESO g	DIÁMETRO cm	ALTURA cm	ALTURA NIVELADA cm	CARGA Lbs.	ÁREA cm²	FACTOR DE CORRECCIÓN	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg²
1	3	318,63	4,570	9,160	9,580	3400	16,403	1	9,20	1 340
2	3	312,58	4,570	9,110	9,430	2500	16,403	1	6,80	990
3	3	321,91	4,580	9,250	9,680	2700	16,475	1	7,30	1 060
4	7	322,51	4,570	9,220	9,570	3000	16,403	1	8,10	1 180
5	7	317,94	4,570	9,130	9,640	3700	16,403	1	10,00	1 450
6	7	319,04	4,550	9,150	9,570	3900	16,260	1	10,70	1 550
7	28	325,14	4,580	9,350	9,650	4000	16,475	1	10,80	1 570
8	28	334,86	4,580	9,300	9,660	6300	16,475	1	17,00	2 470
9	28	321,18	4,570	9,230	9,490	3400	16,403	1	9,20	1 340
10	123	315,80	4,580	9,120	9,640	5600	16,475	1	15,10	2 190
11	123	331,20	4,580	9,350	9,850	8700	16,475	1	23,50	3 410
12	123	283,40	4,600	9,040	9,480	5600	16,619	1	15,00	2 180
13	123	288,90	4,590	9,220	9,610	6600	16,547	1	17,70	2 570

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

Continuación del anexo 1.



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



No. 6397

**INFORME DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE NÚCLEO DE CONCRETO
NORMA ASTM C- 42**

O.T. No. 34835

S.C. - 666

HOJA 2/2

INTERESADO: Wilmer Estiven López Enriquez, Carné No. 2011-22862

PROYECTO: Trabajo de graduación "Diseño de Concreto Refractario Utilizando Residuos de Ladrillos de Barro Cocido".

DIRECCION: Ciudad de Guatemala.

FECHA: 4 de Noviembre de 2015

TESTIGO	DIAS DESPUES DE EXTRACCIÓN	PESO g	DIÁMETRO cm	ALTURA cm	ALTURA NIVELADA cm	CARGA Lbs.	ÁREA cm²	FACTOR DE CORRECCIÓN	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg²
14	123	286,80	4,580	9,400	9,930	4900	16,475	1	13,20	1 920
15	123	276,00	4,580	8,910	9,370	5300	16,475	1	14,30	2 080
16	123	273,20	4,580	9,040	9,450	4200	16,475	1	11,30	1 640
17	123	275,60	4,580	9,060	9,440	4700	16,475	1	12,70	1 840
18	123	329,10	4,600	9,200	9,300	9800	16,619	1	26,20	3 800
19	123	310,20	4,590	8,900	9,330	7500	16,547	1	20,20	2 930
20	123	325,10	4,570	8,970	9,270	9200	16,403	1	24,90	3 610

II.- OBSERVACIONES

a) Núcleos extraído de planchas de concreto de 1,50 x 1,50 x 0,50 m.

b) Norma aplicada ASTM C-42

c) Núcleos extraídos el: 19 de Junio de 2015

d) Núcleos sumergidos para curado de concreto.

e) Núcleos de concreto con LADRILLO TAYUYO.

f) Los testigos del 12 al 20 fueron sometidos a altas temperaturas. (900°C)

g) Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 libras, dial utilizado de 60 000 libras.

ATENTAMENTE,



Inga Dilma Yajet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo. Bo.



Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



SECCION DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

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

Continuación del anexo 1.



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



INFORME DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE NÚCLEO DE CONCRETO No. **6399**
NORMA ASTM C- 42

O.T. No. 34835

S.C. - 667

HOJA 1/2

INTERESADO: Wilmer Estiven López Enriquez, Carné No. 2011-22862

PROYECTO: Trabajo de graduación "Diseño de Concreto Refractario Utilizando Residuos de Ladrillos de Barro Cocido".

DIRECCION: Ciudad de Guatemala.

FECHA: 4 de Noviembre de 2015

I.- RESULTADOS

TESTIGO	DIAS DESPUES DE EXTRACCIÓN	PESO g	DIÁMETRO cm	ALTURA cm	ALTURA NIVELADA cm	CARGA Lbs.	ÁREA cm ²	FACTOR DE CORRECCIÓN	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	3	335,68	4,570	9,580	10,180	6200	16,403	1	16,80	2 440
2	3	330,48	4,570	9,310	9,890	5000	16,403	1	13,60	1 970
3	3	343,23	4,570	9,350	9,960	6300	16,403	1	17,10	2 480
4	7	340,20	4,590	9,150	9,780	8800	16,547	1	23,70	3 440
5	7	345,20	4,590	9,210	10,090	9500	16,547	1	25,50	3 700
6	7	339,50	4,580	9,080	10,040	10600	16,475	1	28,60	4 150
7	28	340,54	4,570	9,140	9,670	12500	16,403	1	33,90	4 920
8	28	344,00	4,570	9,210	10,090	13500	16,403	1	36,60	5 310
9	28	340,17	4,570	9,170	9,960	12000	16,403	1	32,50	4 720
10	37	334,30	4,580	9,020	9,660	10500	16,475	1	28,30	4 110
11	37	342,40	4,580	9,200	9,640	15000	16,475	1	40,50	5 880
12	37	311,30	4,580	8,850	9,590	9900	16,475	1	26,70	3 870
13	37	299,20	4,580	9,130	9,720	10000	16,475	1	27,00	3 920

Continuación del anexo 1.



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



No. 6398

**INFORME DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE NÚCLEO DE CONCRETO
NORMA ASTM C- 42**

O.T. No. 34835

S.C. - 667

HOJA 2/2

INTERESADO: Wilmer Estiven López Enriquez, Carné No. 2011-22862

PROYECTO: Trabajo de graduación "Diseño de Concreto Refractario Utilizando Residuos de Ladrillos de Barro Cocido".

DIRECCION: Ciudad de Guatemala.

FECHA: 4 de Noviembre de 2015

TESTIGO	DIAS DESPUES DE EXTRACCIÓN	PESO g	DIÁMETRO cm	ALTURA cm	ALTURA NIVELADA cm	CARGA Lbs.	ÁREA cm²	FACTOR DE CORRECCIÓN	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg²
14	37	307,70	4,580	9,160	9,540	6500	16,475	1	17,60	2 550
15	37	297,40	4,580	8,850	9,350	7400	16,475	1	20,00	2 900
16	37	307,40	4,580	9,180	9,660	6700	16,475	1	18,10	2 630
17	37	301,00	4,590	9,220	9,510	5100	16,547	1	13,70	1 990
18	37	330,20	4,610	9,300	9,400	5200	16,691	1	13,90	2 020
19	37	315,00	4,600	8,960	9,350	5600	16,619	1	15,00	2 180
20	37	316,00	4,600	8,950	9,240	6000	16,619	1	16,10	2 340

II.- OBSERVACIONES

a) Núcleos extraído de planchas de concreto de 1,50 x 1,50 x 0,50 m.

b) Norma aplicada ASTM C-42

c) Núcleos extraídos el: 14 de Septiembre de 2015

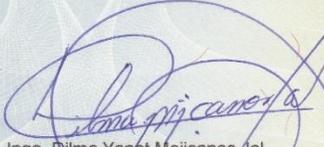
d) Núcleos sumergidos para curado de concreto.

e) Núcleos de concreto NORMAL.

f) Los testigos de 12 al 20 fueron sometidos a altas temperaturas. (900°C)

g) Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 libras, dial utilizado de 60 000 libras.

ATENTAMENTE,

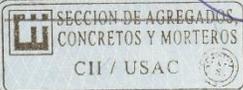


Inga. Dilma Yaret Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo. Bo.



Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



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

