

UNIVERSIDAD DE CUENCA

MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES SEGUNDA COHORTE

HORMIGONES CON AGREGADOS CERÁMICOS:

Caracterización del hormigón resultante de utilizar el desecho de la industria cerámica de la ciudad de Cuenca como agregado grueso.

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
MAGISTER EN CONSTRUCCIONES (MSc)**

AUTOR: Ing. DIANA BERNARDITA MORA ABRIL

DIRECTOR: Ing. PhD. JUAN FERNANDO ZALAMEA LEÓN

Cuenca, diciembre de 2014

RESUMEN

La presente investigación determina los efectos de la sustitución total del agregado grueso (grava natural) del hormigón, por grava obtenida de los residuos de la industria cerámica de la ciudad de Cuenca-Ecuador. Este residuo se denomina chamota y, proviene de las piezas formadas y quemadas que se han roto durante la elaboración de vajillas de cerámica, se utilizará la chamota obtenida antes del proceso de esmaltado.

Se investigan los efectos tanto en la resistencia mecánica como en la densidad y la absorción del hormigón resultante. Con este fin se determinan: la resistencia a compresión y tracción así como la absorción total de agua por inmersión total y la densidad.

Los resultados obtenidos muestran que, para el hormigón cerámico elaborado con el árido cerámico completo obtenido de la trituración, la densidad disminuye en un 12 % la resistencia a compresión ($f'c$) en un 70%, la resistencia a flexión o módulo de rotura (MR) disminuye en un 44% en comparación con el concreto convencional, la relación $MR/f'c$ en el hormigón cerámico es de 0,29 mientras que en el convencional es de 0,17. Para el hormigón cerámico elaborado con el árido cerámico sin finos la densidad disminuye en un 10% la resistencia a compresión en un 58%.

Por lo tanto debido a las bajas resistencias obtenidas en los hormigones cerámicos y su alta permeabilidad, se concluye que no es viable su uso como hormigón estructural.

Palabras clave.

Concreto, Áridos, cerámico, Resistencia, Mezclas, Dosificaciones, Hormigón convencional

ABSTRACT

The present investigation determines the effects of totally substituting concrete coarse aggregate (natural gravel) by gravel obtained from ceramic industry waste in the city of Cuenca, Ecuador. The name of this waste is "chamota" and it comes from formed and burned pieces that are broken when crockery is being elaborated. "Chamota" without enamel will be used in this study.

Effects in mechanical resistance, density, and absorption of concrete are investigated. To accomplish these objectives, compressive strength, traction strength, water absorption by total immersion, and density are determined.

The results show that for ceramic concrete elaborated with ceramic aggregate completely obtained of trituration, density reduced by 12%, compressive strength ($f'c$) reduced by 70%, and flexion strength (MR) reduced by 44% when compared to traditional concrete. MR/ $f'c$ ratio is 0.29 for ceramic concrete whereas for traditional concrete is 0.17. For ceramic concrete elaborated without fine aggregate density reduced by 10%, and compressive strength reduced by 58%.

Hence, due to the low resistance values obtained in the ceramic concrete and its high permeability, it is concluded that its use as structural concrete is not viable.

Keywords:

Concrete; Aggregate; Ceramic; Resistance; Mixes; Dosages; Traditional concrete

Tabla de contenido

CAPITULO 1.- LINEAMIENTOS.....	1
1.1. INTRODUCCION	1
1.2. GLOSARIO.....	3
1.3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	7
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.5.1. OBJETIVO GENERAL	8
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.6. HIPÓTESIS.....	9
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO PARA CONOCER EL ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO	10
2.2. BASE TEÓRICA	17
2.2.1. INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS EN CONCRETO	19
2.2.2. GRANULOMETRÍA.....	21
2.2.3. TAMAÑO MÁXIMO DE LOS AGREGADOS	25
2.2.4. FORMA Y ANGULOSIDAD.....	28
2.2.5. TEXTURA SUPERFICIAL.....	29
2.2.6. ABSORCIÓN Y HUMEDAD SUPERFICIAL	30
2.2.7. RESISTENCIA DEL AGREGADO	31
CAPÍTULO 3.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	33
3.1. METODOLOGÍA.....	33
3.2. MATERIALES.....	33
3.2.1. CRITERIO DE SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO	35
3.3. FABRICACIÓN DEL AGREGADO CERÁMICO	36

3.4.	CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁRIDOS.....	38
3.4.1.	PROPIEDADES FÍSICAS	39
3.4.2.	GRANULOMETRÍA.....	39
3.4.3.	HUMEDAD	40
3.4.4.	ABSORCIÓN.....	41
3.4.5.	PESO ESPECÍFICO (DENSIDAD RELATIVA Y/O GRAVEDAD ESPECÍFICA).....	42
3.5.	ELABORACIÓN DE CONCRETOS	43
3.5.1.	DISEÑO O PROPORCIONAMIENTOS DE MEZCLAS.....	43
3.6.	ENSAYOS DE LABORATORIO	47
3.7.	PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO.....	48
3.7.1.	REVENIMIENTO.....	48
3.8.	PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO	49
3.8.1.	DENSIDAD	49
3.8.4.	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	52
3.8.5.	MÓDULO DE ELASTICIDAD	53
	CAPÍTULO 4.- CONCLUSIONES RECOMENDACIONES.....	57
	ANEXOS	59
	Anexo 1: ESTADÍSTICAS DE LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL MINERO. MINISTERIO DE ENERGÍAS NO RENOVABLES	59
	ANEXO 2: GRANULOMETRÍA MATERIAL TRITURADO	60
	ANEXO 3: GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO CERÁMICO LABORATORIO DE SUELOS FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE CUENCA.....	62
	ANEXO 4: GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO NATURAL	65
	ANEXO 5: GRANULOMETRÍA ARENA (AGREGADO FINO NATURAL) YGRANULOMETRÍA AGREGADO FINO CERÁMICO	66
	ANEXO 6: PESOS ESPECÍFICOS.....	68
	AGREGADO GRUESO NATURAL	68

AGREGADO FINO NATURAL.....	69
AGREGADO GRUESO CERÁMICO, ,.....	70
AGREGADO FINO CERÁMICO.	71
ANEXO 7: COMPARACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO	72
ANEXO 8: RELACIÓN AGREGADO/CEMENTO (EN PESO) REQUERIDA PARA DAR 4 GRADOS DE TRABAJABILIDAD CON DIFERENTES GRANULOMETRÍAS Y FORMAS DE AGREGADO DE 19 MM (3/4").....	73
ANEXO 9: INFORMES DE ENSAYOS DE CONCRETOS. ROTURA A LOS 7 Y 28 DÍAS.	74
Bibliografía.....	75

Índice de Ilustraciones

<i>ILUSTRACIÓN 1 EL NIVEL DEL LÍQUIDO EN LAS PROBETAS, QUE REPRESENTAN A LOS VACÍOS, ES CONSTANTE PARA VOLÚMENES ABSOLUTOS IGUALES DE AGREGADOS CON TAMAÑOS UNIFORMES, AUNQUE DIFERENTES. CUANDO SE COMBINAN TAMAÑOS DIFERENTES, EL CONTENIDO DE VACÍOS DISMINUYE, LA ILUSTRACIÓN NO ESTÁ EN ESCALA.....</i>	<i>22</i>
<i>ILUSTRACIÓN 2 TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO SEGÚN LA ESTRUCTURA A REALIZAR</i>	<i>27</i>
<i>ILUSTRACIÓN 3 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN SU FORMA</i>	<i>28</i>
<i>ILUSTRACIÓN 4 CHAMOTA PROCEDENTE DE LA FABRICA CERÁMICA ANDINA.....</i>	<i>36</i>
<i>ILUSTRACIÓN 5 TRITURADORA DE MANDÍBULAS PROYECTO CESEMIN FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS. UNIVERSIDAD DE CUENCA</i>	<i>36</i>
<i>ILUSTRACIÓN 6 GRANULOMETRÍA MATERIAL CERÁMICO TRITURADO</i>	<i>37</i>
<i>ILUSTRACIÓN 7 LAVADO DEL MATERIAL</i>	<i>37</i>
<i>ILUSTRACIÓN 8 MATERIAL TRITURADO COMPLETO CON PARTÍCULAS DE DIÁMETRO MENOR A 4,75MM</i>	<i>37</i>
<i>ILUSTRACIÓN 9 MATERIAL RETENIDO EN TAMIZ 4,75MM</i>	<i>37</i>
<i>ILUSTRACIÓN 10 MATERIAL TRITURADO SIN FINOS SIN PARTÍCULAS DE DIÁMETRO MENOR A 4,75MM</i>	<i>37</i>

ILUSTRACIÓN 11 MATERIAL PASANTE EL TAMIZ 4,75MM	37
ILUSTRACIÓN 12 GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO CERÁMICO Y AGREGADO GRUESO NATURAL	39
ILUSTRACIÓN 13 GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO NATURAL Y FINO CERÁMICO	40
ILUSTRACIÓN 14 MEZCLADO INICIAL DE AGREGADO CERÁMICO CON AGUA	41
ILUSTRACIÓN 15 AJUSTE GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA Y GRANA NATURAL	45
ILUSTRACIÓN 16 AJUSTE GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA Y GRANA CERÁMICA	45
ILUSTRACIÓN 17 CONCRETERA BASCULANTE UTILIZADA	47
ILUSTRACIÓN 18 ELABORACIÓN DE VIGUETAS Y CILINDROS PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN	48
ILUSTRACIÓN 19 ASENTAMIENTO MEDIDO MEZCLA CERÁMICA NUEVA COMPLETA	48
ILUSTRACIÓN 20 ENSAYO A COMPRESIÓN EN CILINDRO DE 10 X 20 CM	51
ILUSTRACIÓN 21 TIPO DE FACTURA DE CILINDRO	52
ILUSTRACIÓN 22 ACERCAMIENTO DE MUESTRA FALLADA POR COMPRESIÓN	52
ILUSTRACIÓN 23 CURVA TÍPICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN PARA EL CONCRETO BAJO COMPRESIÓN, Y PUNTOS PARA DEFINIR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD SEGÚN ASTM C-469	54
ILUSTRACIÓN 24 REGISTRO EN LABORATORIO DE DEFORMACIÓN LATERALES Y LONGITUDINAL	55

Índice de Tablas

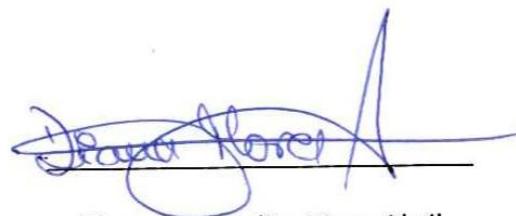
TABLA 1 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN INFLUENCIADAS POR LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO	21
TABLA 2 REQUISITOS DE GRADACIÓN DEL ÁRIDO FINO. (INEN 872, 1982)	23
TABLA 3 REQUISITOS DE GRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO. (INEN 872, 1982)	24
TABLA 4 CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES	30
TABLA 5 HUMEDAD DE LOS AGREGADOS	40
TABLA 6 ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS	41
TABLA 7 DENSIDAD RELATIVA (ADIMENSIONAL)	42
TABLA 8 . DISEÑO MEZCLA CERÁMICA SIN FINOS MCSF	46
TABLA 9 DISEÑO MEZCLA PATRÓN MP	46

TABLA 10 DISEÑO MEZCLA CERÁMICA CON FINOS MC	46
TABLA 11 . DISEÑO MEZCLA CERÁMICA NUEVA HC	47
TABLA 12 ASENTAMIENTO OBTENIDO	49
TABLA 13 DENSIDAD OBTENIDA.....	49
TABLA 14 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA POROSIDAD, SEGÚN MANUAL DE LA RED DURAR	51
TABLA 15 RESISTENCIA A COMPRESIÓN	51
TABLA 16 RESISTENCIA A FLEXIÓN	53
TABLA 17 MODULO DE ELASTICIDAD EN MPA	55

Cláusula de derechos de Autor

Diana Bernardita Mora Abril, autora de la tesis “HORMIGONES CON AGREGADOS CERÁMICOS: Caracterización del hormigón resultante de utilizar el desecho de la industria cerámica de la ciudad de Cuenca como agregado grueso.”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de MAGISTER EN CONSTRUCCIONES. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora

Cuenca, diciembre de 2014



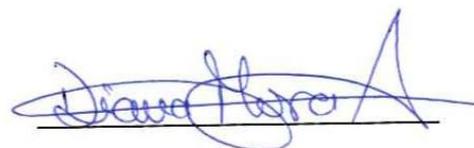
Diana Bernardita Mora Abril

C.I: 0102499852

Cláusula de propiedad intelectual

Diana Bernardita Mora Abril, autora de la tesis “HORMIGONES CON AGREGADOS CERÁMICOS: Caracterización del hormigón resultante de utilizar el desecho de la industria cerámica de la ciudad de Cuenca como agregado grueso.” certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, diciembre de 2014



Diana Bernardita Mora Abril

C.I: 0102499852

DEDICATORIA

A los cuatro pilares de mi vida
Guido, Mario, José Diego y David

HORMIGONES CON AGREGADOS

CERÁMICOS:

Caracterización del hormigón resultante de utilizar el desecho de la industria cerámica de la ciudad de Cuenca como agregado grueso.

CAPITULO 1.- LINEAMIENTOS

1.1. INTRODUCCION

Existe a nivel global una justificada preocupación por el constante deterioro del medio ambiente, y la actividad de la construcción es, sin duda, una de las actividades que mayor responsabilidad tiene en este proceso. En términos estadísticos, se puede decir que el sector de la construcción es responsable del 50% de los recursos naturales empleados, del 40% de la energía consumida y del 50% del total de los residuos generados (Arenas Cabello, 2007). Por esto es necesario analizar alternativas que permitan mitigar los efectos perjudiciales de esta creciente actividad humana.

En los últimos tiempos se ha impulsado con mucha fuerza el manejo del hormigón, que es el material de construcción que se utiliza en mayor volumen, para que su producción se vuelva más amigable con el medio ambiente, se propone conseguir este objetivo reemplazando sus componentes tradicionales por otras alternativas de menor impacto contaminante.

La tesis planteada pretende contribuir con este propósito a través de la determinación de las propiedades del hormigón obtenido al reemplazar el árido grueso tradicional con residuos de la fábrica de vajillas de la ciudad de Cuenca-Ecuador.

El trabajo se realizó en dos fases, la primera evaluó, la calidad y propiedades del material propuesto para su utilización como árido grueso, para ello se seleccionó una de las fábricas que produce este desecho en la ciudad (Cerámica ANDINA C.A.). Este material fue sometido a un proceso de trituración para obtener la granulometría adecuada según las normas y posteriormente se aplicaron los ensayos normados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y el American Society for Testing and Materials (ASTM), para requisitos de áridos gruesos con la finalidad de determinar las características físico-mecánicas del árido propuesto.

Debido al alto % de material fino (material de diámetro menor a 4,75 mm) que contiene el árido cerámico triturado y a su influencia en el concreto resultante, se decidió realizar dos tipos de hormigones cerámicos, uno que incluya el total del producto de trituración y un segundo con la eliminación previa del material fino.

La segunda fase consistió en la valoración de las características del hormigón elaborado con la sustitución total del árido grueso por el árido cerámico mediante la comparación con un patrón de concreto convencional que para esta investigación se

define como aquel que tiene una consistencia media plásticas con un asentamiento entre 50 y 100 mm, $f'c=210\text{Kg/cm}^2$, con agregado grueso de tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4"),., realizado según las normas INEN y ASTM y con materiales propios de la zona de estudio.

Las características del hormigón, en estado endurecido, que fueron analizadas para evaluar el desempeño del hormigón obtenido al remplazar el árido natural con el árido cerámico son: densidad, resistencia a la compresión, y resistencia a la flexión. Se aplicó la tecnología del hormigón convencional para el hormigón obtenido con el árido alternativo.

1.2. GLOSARIO

Concreto se ha definido (ASTM C-125), como un material compuesto que consta esencialmente de un medio pegante dentro del cual se embeben partículas o fragmentos de agregados. En los concretos de cemento hidráulico, el pegante está formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua. Los concretos de cemento hidráulico son los más empleados en el mundo.

Hormigón de resistencia normal. Según las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) INEN 2551 es un producto para la construcción en general y reparación, elaborado con materiales secos combinados, ensacados para ser aplicado en donde el espesor no excede de 50 mm.

Cemento hidráulico es un material inorgánico finamente pulverizado, conocido comúnmente como cemento que al agregar agua tiene la propiedad de fraguar y endurecerse incluso cuando está sumergido en agua, debido a las reacciones químicas durante la hidratación y que una vez

endurecido conserva su resistencia y estabilidad. A esta mezcla agua cemento se denomina pasta.

Árido (agregado) están definidos por la norma INEN 694, como: materiales granular como: arena, grava, piedra triturada o escoria de altos hornos siderúrgicos, que se usan con un cementante para elaborar hormigón o morteros de cemento hidráulico.

Árido fino (arena) definidos por la norma INEN 694 como: (1) árido que pasa por el tamiz de 9,5 mm (3/8") y que la mayor parte de sus partículas pasan por el tamiz de 4,75 mm (No.4) y son retenidas en su mayoría en el tamiz 75 μ m (No. 200) ó, (2) la parte de un árido que pasa el tamiz de 4,75 mm (No.4) y es retenido en el tamiz de 75 μ m (NO. 200).

Agregado grueso (1) árido en que la mayor parte de sus partículas queda retenida en el tamiz de 4,75 mm (No. 4), o (2) la porción de un árido retenido sobres el tamiz 4,75 mm (No. 4).

Pasta cementante mezcla de agua y cemento hidráulico.

Gradación o Graduación términos utilizados para expresar la conformación de tamaños o arreglo granulométrico de las partículas de los áridos.

Granulometría de agregados La composición granulométrica puede definirse como "la relación de porcentajes en que se encuentran los distintos tamaños de granos de un árido respecto al total.

Desecho o residuo En ecología, es cualquier material que su productor o dueño considera que no tienen valor suficiente para retenerlo.

Sustentable o sostenible según el Informe Brundtland de 1987, la sostenibilidad consiste en satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades.

Cemento Portland Tipo I: Cemento hidráulico producido por la pulverización del Clinker que consiste esencialmente de silicato cálcico hidráulico, que contiene usualmente una o más de las formas de sulfato cálcico como adición. Para uso cuando las propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo no son requeridas.

Mampuesto: Elemento simple de albañilería que por sus pequeñas dimensiones permite ser manipulado por un operario sin necesidad de usar ningún tipo de maquinaria para su colocación.

Chamota: La chamota es un material granular obtenido de la pulverización de los ladrillos, piedras refractarias, u otro producto cerámico cocido.

1.3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En los últimos tiempos, las preocupaciones respecto al deterioro del medio ambiente han generado múltiples investigaciones, con propuestas que pretenden, no sólo un conocimiento teórico de los problemas que hoy se enfrenta, sino también crear una solución para dichos problemas medioambientales como son la disminución de la capa de ozono, el calentamiento global, la alteración de ecosistemas, los cambios climáticos bruscos, entre otros.

En el caso específico de la construcción, también se ha dado el fenómeno de la aparición de propuestas teóricas y técnico-prácticas como intentos de comprensión y solución de los nuevos problemas.

El proceso de producción de concreto y de muchos de sus agregados se realiza mediante procesos industriales que conllevan el consumo de grandes cantidades de recursos naturales no renovables y de energía. Estos procesos además aportan una gran carga de contaminación ambiental en el aire, el agua, el suelo y además generan residuos durante el proceso de fabricación.

El concreto es el segundo material de mayor consumo luego del agua, se producen entre 2 y 3 toneladas de hormigón/persona/año en países industrializados; y para el 2020 se calcula un incremento de entre el 30% y 85% en países emergentes (Caram, 2012). Por lo tanto es un producto de gran demanda cuya producción y la de sus agregados, eleva el consumo de derivados del petróleo y de combustibles fósiles, lo que causa una fuerte emisión de gases altamente nocivos para la capa de ozono, e.q. NOx (óxidos nitrosos), CO₂, fluorinados, y dioxinas entre otros. En el Ecuador de acuerdo a las estadísticas presentadas por la Agencia de regulación y control minero en

el Azuay, durante los últimos 10 años se han explotado 75.688.268,56 m³ de materiales para la construcción, de los cuales 817.928,98 m³ corresponden al año 2011 reportándose un crecimiento del 41,43% con respecto al año 2010. (<http://www.arcom.gob.ec/index.php>) (Ver anexo1).

1.4. JUSTIFICACIÓN

Con este estudio se pretende disminuir el impacto ambiental que genera el proceso de fabricación del hormigón, entre los cuales se puede mencionar la erosión y pérdida de suelos naturales consecuencia de la explotación de los agregados naturales, Se propone mitigar el impacto sobre el suelo mediante la introducción de un sustituto para el agregado grueso.

La presente investigación pretende contribuir en la solución del problema ambiental haciendo uso de desechos sólidos de la industria cerámica en Cuenca a través de la innovación que consiste en transformarlo en un producto útil con pruebas de campo de calidad y durabilidad que satisfagan normas INEN y ASTM de requisitos de agregados para hormigones.

Esta investigación contribuirá a la "VALORIZACIÓN DE UN RESIDUO", el cual podrá ser presentado como un producto atractivo de fácil aplicación y comercialización. Con los datos obtenidos de la investigación se tendrá un sustento técnico que demuestre que los hormigones producidos a partir de residuos son aplicables, produciéndose impactos benéficos en lo técnico, ambiental, social y económico.

El presente proyecto de investigación intenta desarrollar nuevas tecnologías que contribuyan a disminuir los costos de los materiales de construcción a través de la sustitución total o

parcial de agregados gruesos del hormigón por residuos de la industria cerámica.

El presente trabajo contribuirá con la determinación del proceso tecnológico aplicado para trituración y clasificación del material de residuo con el fin de obtener el tamaño de partícula apropiada para trabajar la matriz agregado y la distribución granulometría adecuada del material a ser utilizado como agregado grueso, procedimiento que puede ser aplicado a futuro en otros materiales alternativos analizados. Se determinará el proceso de dosificación necesario que garantice que las propiedades físico mecánicas del hormigón producido acordes con las especificaciones de las normas técnicas y los códigos de construcción.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización físico - mecánica del hormigón producido utilizando desechos cerámicos (bizcocho o chamota) de la industria cerámica cuencana como agregado grueso para sustentar técnicamente los campos de aplicación segura dentro de la construcción mediante la comparación con hormigón convencional de 210 kg/cm².

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcanzar los objetivos establecidos se debe:

1. Definir los requisitos que debe cumplir el árido de residuo cerámico para su utilización en la

fabricación de hormigón de resistencias del orden de 210 kg/cm².

2. Aplicar los ensayos normalizados en áridos convencionales para los áridos de cerámica propuesto para determinar sus características físico-mecánicas.
3. Determinar la dosificación adecuada para el hormigón con agregado cerámico con características similares a las del hormigón normal de 210 kg/cm².
4. Determinar y comparar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con agregado cerámico y el tradicional de 210 kg/cm².
5. Definir los posibles campos de uso en la construcción de los hormigones obtenidos con desecho cerámico.

1.6. HIPÓTESIS

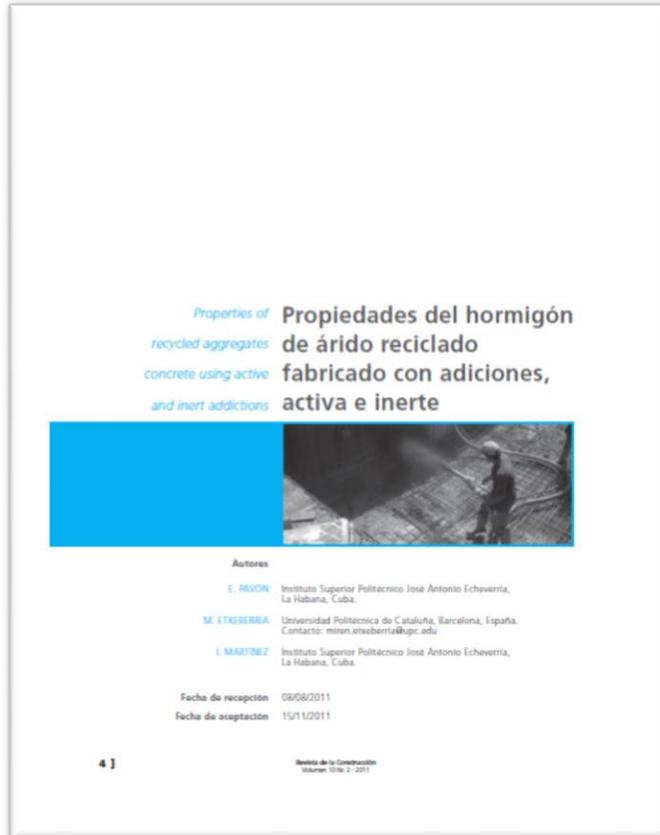
Es posible obtener hormigón de características aceptables ($f'c=210$ kg/cm²), a un costo bajo, y con baja densidad, a través de la sustitución total del agregado grueso convencional con desechos de la industria cerámica de la ciudad de Cuenca.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO PARA CONOCER EL ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

Existen numerosos estudios que evalúan las propiedades de hormigones obtenidos con la sustitución de alguno de los componentes del hormigón como el cemento, por ejemplo, por , cenizas de carbón, cenizas de bagazo, cenizas de cáscara de arroz (Gastaldini, 2007) , lodos de plantas de tratamiento de aguas etc. De igual manera la sustitución de áridos convencionales tanto fino como grueso, con otros alternativos como: áridos finos reciclados (L. Evangelista, 2007), Polietileno tereftalato (PET) triturado (Chacon & Lema, 2012), residuos de la industria cerámica ladrillos, cerámica blanca, porcelana eléctrica (C. Medina a, 2013), escorias de fundición (acero, cobre, aluminio), escombros de la industria del mármol, residuos de la industria del caucho, residuos de la industria del papel, residuos de la industria sucroquímica.

Como estudios relevantes afines a la investigación propuesta se presenta:



- a. Informe del estudio realizado por E. Pavón del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba; M. Etxeberria de La Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. miren.etxeberria@upc.edu; I. Martínez del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba. De título: Propiedades del hormigón de árido reciclado fabricado con adiciones, activa e inerte. Publicado en Revista de la Construcción Volumen 10, No 3 en 2011.

Este trabajo de investigación describe las propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad de los hormigones fabricados con el 25% y 100% de árido grueso reciclado utilizando adiciones activa e inerte (microsílice y relleno de escoria de arco eléctrico). La fase experimental realizada consta de dos etapas: En la etapa 1 se realizó un estudio físico-mecánico (resistencia a compresión y velocidad de ultrasonido); En la etapa 2 se evaluó la durabilidad de los hormigones reciclados fabricados con adiciones mediante los ensayos de difusión de cloruros, resistividad, absorción y porosidad, lo que permitió comparar los resultados con el hormigón convencional fabricado con similar dosificación.

Los resultados demuestran que los hormigones reciclados obtienen propiedades físicas y mecánicas inferiores al hormigón convencional. Sin embargo, la durabilidad del hormigón reciclado fabricado con adiciones activas mejora las propiedades del hormigón convencional.

Conclusiones

De acuerdo a los análisis realizados, las conclusiones obtenidas respecto a las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad son:

Propiedades físico-mecánicas:

- Los hormigones fabricados con 25% de árido reciclado sin ningún tipo de adición igualan la resistencia a compresión del hormigón convencional.
- La sustitución del 5 ó 10% del cemento por relleno de escoria reduce la resistencia del hormigón en todas las edades evaluadas. Es posible utilizar hormigones reciclados de 25% de sustitución de árido grueso, con relleno de escoria de arco eléctrico en sustitución por cemento hasta un 10% con fines estructurales, ya que se logra superar los 25 MPa de resistencia a los 28 días.
- La utilización de microsílíce en sustitución del cemento disminuye la resistencia a compresión hasta los 28 días de edad, a edades avanzadas (180 días) los hormigones reciclados fabricados con 5% y 10% de microsílíce superan e igualan la resistencia a compresión obtenida por el hormigón patrón, respectivamente.
- La resistencia a compresión de hormigones fabricados con 100% de árido reciclado con o sin adiciones, es inferior al obtenido tanto por el hormigón patrón como por los hormigones fabricados con 25% de sustitución de árido reciclado. La utilización de microsílíce en un 5% mejora la resistencia a compresión respecto al hormigón fabricado con 100% de árido reciclado sin adición.
- Los valores obtenidos de velocidad de ultrasonido en los hormigones permiten clasificar todos los hormigones de 25% de árido reciclado independientemente del tipo de adición utilizado, como hormigón de buena calidad al superar los 4 km/s a los 28 días.

Propiedades de durabilidad:

- Los hormigones fabricados con 25% de árido reciclado con un 5 y 10% de adición de microsílíce mejora considerablemente la resistividad y la resistencia a la penetración de iones cloruros obtenidos por el hormigón patrón. En ambientes con presencia de iones cloruros, se recomienda utilizar un 10% de sustitución de microsílíce por cemento por la disminución que se logra en el valor de la carga en el ensayo C1202 de la ASTM (<3000).
- El incremento del uso del árido reciclado del 25% al 100% produce una reducción de la resistividad del 17%, siendo esta todavía superior al hormigón patrón cuando el hormigón ha sido fabricado con un 5% de adición de microsílíce.
- Los hormigones de reciclados de 100% de sustitución de árido grueso, logran valores similares al hormigón patrón, en propiedades tales como la resistividad y la penetrabilidad de iones cloruros, con la sustitución de un 5% de microsílíce, a pesar de las pérdidas que se producen en propiedades como la resistencia a compresión, la absorción, porosidad y velocidad de ultrasonido, debido a la presencia de poros en el mortero adherido al árido natural.
- En las propiedades de absorción y porosidad el efecto negativo que produce el incremento del uso del árido reciclado del 25% al 100%, es superior a la acción de la adición activa.



b. Documento: Properties of recycled ceramic aggregate concretes: Water resistance. Publicado en: Cement and Concrete Composites. Publicado en el: 2013-07. Editorial: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.04.005>. Publicado por: Elsevier.

El presente estudio investiga los efectos de la sustitución del 20% y el 25% del total del agregado grueso (grava natural) del hormigón, por grava obtenida del reciclado de artículos de cerámica sanitaria, tanto en la resistencia mecánica como en la permeabilidad o resistencia a la penetración del agua del hormigón resultante. Con este fin se determinan: la resistencia a compresión y tracción así como el tamaño de poros, la absorción total de agua por inmersión total y la capacidad de absorción capilar y penetración de agua bajo presión.

Los resultados revelan que no solo tiene buen comportamiento de resistencia, sino también que, la porosidad ligeramente mayor en el hormigón reciclado no se traduce en una mayor permeabilidad. Concluyéndose que estos nuevos hormigones reciclados, pueden llegar a ser tan duraderos como el material convencional.

Conclusiones:

En el estudio referido se presentan las siguientes conclusiones del hormigón reciclado obtenido.

1. La resistencia mecánica es mayor en los hormigones de áridos reciclados que en el hormigón de referencia, y se eleva al elevar el contenido de agregado de cerámica.
2. La inclusión de agregado cerámico obtenido de artículos sanitarios, eleva ligeramente porosidad total y

modifica la distribución del tamaño de poro, con un aumento en el volumen de poros capilares y disminución de macroporos.

3. Los hormigones con árido reciclado de cerámica tienen una mayor sortividad (velocidad o ritmo de penetración) que los hormigones convencionales, ya que los valores son sistemáticamente menores de $3 \text{ mm} / \text{h}^{0.5}$, éstos, en consecuencia pueden considerarse como materiales duraderos.

4. Aunque, el valor promedio de la profundidad máxima de penetración de agua, es mayor en hormigones con agregados reciclado, que en los hormigones obtenidos con agregados naturales, nunca supera los 30 mm.

5. A la luz de estos hallazgos, la sustitución de áridos naturales con el reciclado de residuos de la industria de artículos sanitarios, es factible desde el punto de vista de su resistencia a la penetración del agua.

Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering, Vol. 31, No. B5, pp 561-565
Printed in The Islamic Republic of Iran, 2007
© Shiraz University

"Research Note"

UTILIZATION OF CRUSHED TILE AS AGGREGATE IN CONCRETE*

I. B. TOPÇU[†] AND M. CANBAZ

Dept. of Civil Engineering, Ekişehir Osmangazi University, 26480, Ekişehir, Turkey
E-mail: ikerb@ogu.edu.tr

Abstract- Crushed tile is an industrial waste that causes environmental pollution. Therefore the possible utilization of this material would reduce environmental pollution. The utilization of crushed tile as a coarse aggregate in concrete would have a positive effect on the economy. In concrete production, Portland cement, river sand, 4-32 mm in size crushed stone and crushed tile as coarse aggregates in the replacement ratio of 0, 50 and 100 % were used. Mechanical and physical tests were conducted on specimens. The strength and unit weight of crushed tile aggregate concrete were decreased compared to the control concrete. Absorption and capillary coefficients were increased compared to the control concrete.

Keywords- Recycling, crushed tile, physical properties, mechanical properties

1. INTRODUCTION

The amount of tile waste on earth is enough for use as an aggregate in concrete. Tile is produced from natural materials sintered at high temperatures. There are no harmful chemicals in tile. Waste tiles cause only the appearance of pollution. However some parts of tiles are used in cotto as flooring and also flooring in tennis courts, walkways, cycling paths and gardens as a ground material. Therefore waste tiles are stored in factory fields because of their economical value. Nevertheless, each year approximately 250,000 tons of tiles are worn out, while 100 million tiles are used for repair. These waste materials can be recycled to save money. Crushed tile aggregate, CTA, is a material especially proposed for the buildings constructed in hot climates. The unit weight of concrete is decreased with use of the CTA compared to the control concrete. In previous investigations CTA was examined and no noteworthy negative effects on the strength of the concrete were found. The weakest bonds were between CTA and mortar, therefore failure occurred in this surface. The strength of concrete was increased with the addition of minerals and chemical waste. The use of CTA decreases costs and it also supports environmental health [1]. The other investigation examined the utilization of rubble as an aggregate in concrete. According to this investigation an increase in the stone ratio of rubble decreased the mechanical strength of concrete [2]. The use of crushed concrete as an aggregate caused drying shrinkage, decreased resistance to abrasion and changed water absorption [3]. The elasticity modulus of concrete produced with CTA rubble was 70 % of the elasticity modulus of the control concrete [4]. Both the compressive and tensile strengths of the CTA added concrete were higher, but the drying shrinkage was lower. The inclination of the curve in the ascending part of the strain deformation diagrams was smaller and also deformation was higher compared to the normal concrete due to compressive strength [5]. It was observed that CTA was 33 % lighter in

*Received by the editors October 1, 2006; final revised form April 10, 2007.
[†]Corresponding author

- c. UTILIZATION OF CRUSHED TILE AS AGGREGATE IN CONCRETE. Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering, Vol. 31, No. B5, pp 561-565. Printed in The Islamic Republic of Iran, 2007 © Shiraz University.

El presente estudio tiene como objetivo la sustitución del agregado grueso del hormigón convencional con el producto obtenido de la trituración del desecho producido por la fábrica Kılıçoğlu de Turquía, misma que produce elementos de barro cocido para uso doméstico tales como azulejos, tejas, ladrillo prensado, baldosas para piso, etc. Con la finalidad de reducir la contaminación ambiental por la reutilización de este desperdicio.

En el proceso experimental se ha realizado la sustitución del 50 y 100% del agregado grueso natural con agregado triturado. Determinándose una comparación de la resistencia a la compresión y el coeficiente de absorción y capilaridad obtenidas en el hormigón reciclado y el hormigón de control.

Conclusiones

Las conclusiones y sugerencias realizadas por los autores de la investigación realizada se presentan a continuación.

Los residuos son el principal problema de las fábricas de tejas. El objetivo de esta investigación fue la utilización de estos residuos como agregado grueso del hormigón. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Según los resultados experimentales .El peso volumétrico del concreto reciclado concreto disminuyó un 4%.

El uso de agregado triturado causó una pérdida de 40% en resistencia a la compresión y a la tracción.

El agregado triturado ha afectado negativamente a la abrasión y durabilidad de congelación-descongelación.

De acuerdo con estos resultados, la sustitución del agregado grueso natural por el 100% de agregado producto de la trituración de desperdicios cerámicos no es apropiada.

El uso de agregados reciclados en el hormigón tiene efectos positivos sobre el medio ambiente y la obtención de costos más bajos.

Los desechos de las Industrias cerámicas tienen que ser reciclado por motivos económicos. Para este fin, se debe continuar investigando los posibles usos de los desperdicios cerámicos triturados. La cerámica triturada puede reemplazar a óxidos utilizados para dar color al concreto, utilizado especialmente para pisos y paredes.

Se puede estudiar la Reactividad puzolánica del material granular fino obtenido de a trituración de baldosas. También puede ser examinada la posibilidad de obtener elementos arquitectónicos de aislamiento, con el uso de azulejos triturados.

2.2. BASE TEÓRICA

El hormigón o concreto es un material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante (cemento) al que se añade: partículas o fragmentos de un agregado (grava y arena), agua , aire, y en ocasiones aditivos específicos.

Como en todo compuesto heterogéneo, las características y proporciones de cada uno de los componentes, producen diferentes tipos de concretos, los cuales se caracterizan por sus propiedades físico-mecánicas y químicas, tanto en estado

fresco como en estado endurecido. Propiedades tales como trabajabilidad, densidad, resistencia a la compresión y flexión, módulo de elasticidad, permeabilidad, durabilidad, costo, entre otras, son utilizadas para caracterizarlos.

La resistencia a compresión simple del hormigón es una de sus propiedades más importantes, debido a la facilidad relativa de su determinación en comparación con la de otras características y a que muchas de ellas, como la resistencia a la flexión, módulo de elasticidad, durabilidad, permeabilidad, por ejemplo, están directamente relacionadas con esta y pueden ser obtenidas a través de relaciones teóricas establecidas; la resistencia a compresión está influenciada por:

- La resistencia de la matriz, es decir, de la pasta hidratada y endurecida.
- La resistencia de las partículas de agregado.
- La resistencia inter-fase matriz agregado.

El grado de influencia del tipo y calidad del agregado (árido) utilizado no se puede subestimar ya que los agregados: fino y grueso ocupan aproximadamente las tres cuartas parte del hormigón (Neville, 1980), es decir cerca del 60 % al 75 % del volumen del hormigón (70 % a 85 % de la masa) y tiene como principales funciones las siguientes:

- a. Actuar como armadura o relleno para la pasta cementante, a mayor volumen de árido menor costo del concreto, debido a su bajo costo en comparación al de la pasta de cemento.
- b. Constituir una fracción del hormigón apta para resistir las acciones mecánicas de desgaste por el uso y acciones del medio ambiente por exposición.

- c. Disminuir los cambios en el volumen del hormigón, esto debido a que la presencia del agregado disminuye la cantidad de cemento, que es el que produce grandes cambios de volumen durante los procesos de hidratación y fraguado, el cambio de volumen conlleva al agrietamiento y fisuramiento de la estructura, estas deformaciones permiten el paso de agentes corrosivos para la armadura de hormigones armados. La presencia de agregado disminuye y puede inclusive eliminar este fisuramiento.

En los concretos normales, es decir de resistencia a la compresión menor de 40 MPa y con agregados de resistencia mayor a la del concreto que va a diseñarse, el problema de resistente se ubica en la pasta de cemento; por el contrario en los concretos de alto rendimiento (CAP) o alta resistencia (CAR), que son aquellos de resistencia a la compresión mayor a 40 MPa, el problema radica en la resistencia del agregado. En los concretos normales, la rotura se inicia por un proceso continuo de microfisuración en la zona de adherencia pasta-agregado o alternativamente en la pasta misma. (Neville, 1980).

En la presente investigación se busca alcanzar un hormigón con resistencia alrededor de 20 MPa, con un agregado propuesto (agregado cerámico) de muy baja resistencia lo que puede disminuir importantemente la resistencia del hormigón resultante.

2.2.1. INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS EN CONCRETO

Los agregados influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del hormigón a continuación se

muestran esquemáticamente las propiedades del hormigón influenciadas por las características del agregado.

En estado fresco		En estado endurecido	
Propiedades del concreto	Características de los agregados que la influye	Propiedades del concreto	Características de los agregados que la influye
Peso unitario	Densidad Tamaño máximo /granulometría	Durabilidad	Textura superficial Sanidad Absorción Porosidad Reactividad con los álcalis
Manejabilidad	Granulometría Forma de partícula	Resistencia a compresión	Limpieza Tamaño máximo /granulometría Forma de partícula Resistencia mecánica Partículas friables Textura superficial
Contracción plástica	Limpieza Partículas friables	Cambios volumétricos	Tamaño máximo /granulometría Forma de partícula Limpieza Presencia de arcilla Módulo de elasticidad
Requerimientos de agua	Tamaño máximo /granulometría Sanidad Limpieza	Costos	Tamaño máximo /granulometría Forma de partícula Textura superficial
Sangrado	Granulometría Forma de partícula	Resistencia a la abrasión	Resistencia a la abrasión

Perdidas de revenimiento	Absorción	Peso unitario	Densidad
Segregación	Tamaño máximo /granulometría	Permeabilidad	Porosidad
		Sangrado	Granulometría Forma de partícula

Tabla 1 Propiedades del hormigón influenciadas por las características del agregado

A continuación se hará una análisis teórico de las características del agregado, que mayor influencia tiene sobre las propiedades de concreto resultante, tanto en estado fresco como endurecido.

2.2.2. GRANULOMETRÍA

Se entiende por granulometría a la distribución del tamaño de partículas, el análisis granulométrico de un árido consiste, en separar al árido en diferentes fracciones de partículas del mismo tamaño, o de tamaños comprendidos dentro de determinados límites, mediante tamizado, y en hallar el porcentaje en que entra en el árido, cada uno de estos.

Del análisis granulométrico se obtienen la curvas granulométricas, que son grafos con los valores de la abertura del tamiz, en escala logarítmica, en eje X y el porcentaje acumulado de material que pasa por cada tamiz en eje Y, estas curvas permiten identificar rápidamente si el agregado analizado tiene exceso de fracciones gruesas o finas, y establecer si el agregado tiene granulometría continua o discontinua, será de granulometría continua cuando existen fracciones de todos los tamaños comprendidos entre el más

pequeño y el mayor del mismo, y discontinua cuando exista ausencia de uno o más de los tamaños.

Es fácil entender la influencia de la granulometría en el hormigón considerando lo siguiente, si colocamos una serie de partículas dentro de un espacio limitado se obtendrá una parte del espacio lleno y otra vacía, el volumen de espacio lleno y del vacío dependerá de la distribución de tamaños y de la forma de las partículas, así, en el caso de partículas esféricas el mayor volumen vacío se dará cuando todas las partículas sean de igual diámetro. En esta condición se tendrá el 50 % del espacio lleno y el 50% vacío.

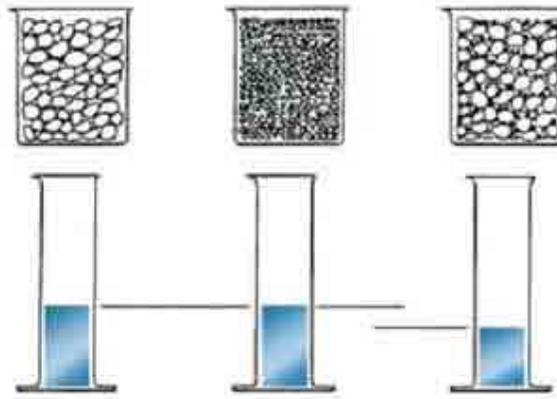


Ilustración 1 El nivel del líquido en las probetas, que representan a los vacíos, es constante para volúmenes absolutos iguales de agregados con tamaños uniformes, aunque diferentes. Cuando se combinan tamaños diferentes, el contenido de vacíos disminuye, la ilustración no está en escala.

Figura tomada de:

<http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/granulometria-gradacion.html>

En el hormigón la pasta cementante debe rodear y unir las partículas de árido, ocupando el espacio de vacíos, de allí, que el mayor volumen de pasta se dará cuando el tamaño de las partículas sea uniforme, es decir que el agregado tenga una granulometría discontinua. En Ilustración 1 se representa el volumen de vacíos en dos arreglos de partículas uniformes y uno con partículas de diferentes tamaños, como puede observarse, el volumen de agua representado en la parte inferior, que constituye el volumen de vacíos es menor en el tercer caso.

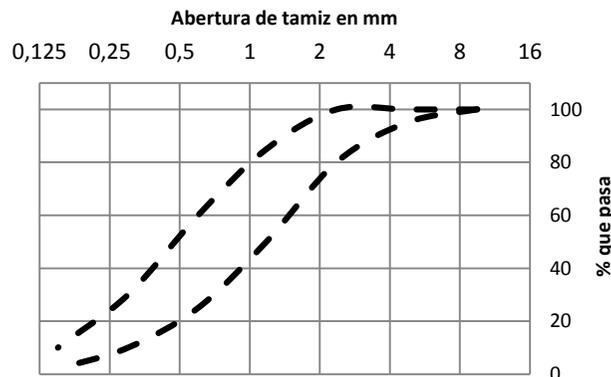
El volumen de vacíos dejado por los agregados en la fabricación de un hormigón debe entonces llenarse de partículas de diferentes tamaños para necesitar la menor cantidad de pasta posible con la que se puede obtener un hormigón económico y de buena estabilidad volumétrica.

Con la granulometría del agregado se determina la cantidad de pasta necesaria para obtener un hormigón con capacidad para ser colocado y consolidado apropiadamente, es decir con una determinada trabajabilidad.

TAMIZ INEN	PORCENTAJE QUE PASA
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 μm	25 a 60
300 μm	10 a 30
150 μm	2 a 10

Tabla 2 Requisitos de gradación del árido fino. (INEN 872, 1982)

Requisitos de gradación del árido fino. (INEN 872, 1982)



La granulometría influye indirectamente en la resistencia del hormigón resultante, ya que, aunque la resistencia de un hormigón totalmente compactado y una misma relación agua/cemento dada, es independiente de la granulometría, sin embargo como la resistencia es dependiente de la compactación, y se podrá obtener la máxima compactación cuando la mezcla tenga suficiente trabajabilidad, resulta entonces necesario obtener la mezcla que puede lograr su máxima compactación con un trabajo moderado.

Adicionalmente, en consideración de que el cemento es el componente de mayor costo del hormigón, es importante disminuir al máximo su cantidad, esto se conseguirá disminuyendo la cantidad de pasta, con un agregado de granulometría continua, pero sin afectar la trabajabilidad y en consecuencia la resistencia y la durabilidad del hormigón.

Con el análisis granulométrico se determina el grado del árido, que de acuerdo a la norma INEN que se cita:

“para ser considerado como árido grueso de un cierto grado (el cual está definido por los dos límites extremos que se indican en la Tabla 3, en mm), debe estar comprendida dentro de los límites que para dicho grado se especifican en la Tabla 3.” (NTE INEN 696, 2011)

Las curvas límites, establecidas para agregados finos y gruesos, que se mencionan anteriormente, expresadas en porcentaje máximo que pasa acumulado, en masa, y su representación gráfica, se presentan en las Tabla 2 y 3

TAMIZ INEN (aberturas cuadradas) (mm)	PORCENAJE EN MASA QUE DEBE PASAR POR LOS TAMICES INEN INDICADOS EN LA COLUMNA (1) PARA SER CONSIDERADO COMO ARIDO GRUESO DE GRADO:									
	90-37,5 mm	63-37,5 mm	53-4,75 mm	37,5- 4,75 mm	26,5-4,75 mm	19-4,75 mm	13,2-4,75 mm	9,5-4,75 mm	53-26,5 mm	37,5-19 mm
106	100									
90	90-100									
75		100								
63	25-60	90-100	100						100	100
53		35-70	95-100	100					90-100	90-100
37,5	0-15	0-15		95-100	100				35-70	20-56
26,5			35-70		95-100	100			0-15	0-15
19	0-5	0-5		35-70		90-100				0-5
13,2			10-30		25-60		100		0-5	
9,5				10-30			90-100	100		
4,75			0-5	0-5		20-56	40-70	85-100		
2,36					0-10	0-10	0-15	10-30		
1,18					0-5	0-5	0-5	0-10		
								0-5		

Tabla 3 Requisitos de gradación del árido grueso. (INEN 872, 1982)

Si bien teóricamente, para cada grado de agregado, existe una distribución óptima que provoca que las partículas se acomoden entre sí, conformando el arreglo volumétrico con el mínimo de espacios, esta granulometría debe evitarse porque vuelve al concreto poco trabajable por el poco espacio para la pasta cementante, provocando aparición de poros y el evidente decremento de la calidad del hormigón. En conclusión se debe poner un porcentaje de pasta mayor que el volumen de vacíos pero no tan alta que encarezca demasiado el producto final.

Por último debe tenderse a utilizar los agregados disponibles en la zona, para no encarecer los costos de producción del hormigón pero cuidando que sus granulometrías sean continuas.

2.2.3. TAMAÑO MÁXIMO DE LOS AGREGADOS

Conforme está definido por la ASTM, el tamaño máximo del agregado, dado en mm, es igual a la abertura del menor tamiz a través del cual pasa el 100% de la muestra. En la práctica se considera que si una pequeña cantidad del agregado es retenido, esto no afectara significativamente las propiedades del concreto; debido a esto es usual utilizar el tamaño máximo nominal, que es, la abertura del menor tamiz hasta el cual es permitido que haya un retenido total de hasta 5% en peso de la muestra. Normalmente los requerimientos de granulometría están en función del tamaño máximo nominal.

Si el tamaño de las partículas del agregado grueso es muy grande, podría suceder que en una sección dada del elemento, utilizado para la caracterización del concreto, no sea representativo del total debido a la presencia de partículas demasiado grandes. Para evitar esta posibilidad en la mayor parte de los casos, se limita el tamaño máximo a 40 mm o menos. Tamaños mayores pueden ser utilizados en concretos no reforzados. Sin embargo la mayor parte de equipos para ensayo de concreto están diseñados para ensayar concretos elaborados con un tamaño máximo de hasta 37.5 mm. Debido a esto, las partículas de mayor tamaño deben ser retiradas, por tamizado, previo al muestreo y ensayo del concreto.

Conforme aumenta el tamaño máximo del agregado, disminuye la cantidad de pasta de cemento requerida, por lo tanto, debido a que la relación agua/cemento puede ser disminuida, para una trabajabilidad y contenido de cemento

especificados, la resistencia del concreto aumenta conforme aumenta el tamaño del agregado.

Sin embargo a mayor tamaño de partícula mayor probabilidad de encontrar fisuras o fallas en el agregado, por los procesos de trituración o de explotación de los mismos, lo que los convertiría en indeseable para fabricar hormigones.

Por otro lado, el American Concrete Institute ACI C-211, sostiene que a medida que se disminuye el tamaño máximo del agregado se incrementa la resistencia del hormigón, esto en consecuencia de la mayor adherencia entre los materiales, debido al aumento de la superficie específica de contacto entre la zona de transición interfacial (ZTI) de la pasta y los agregados.

Se ha demostrado que en una partícula de 76 mm la adherencia es apenas la décima parte que en una de 12.5 mm; y que excepto para agregados extremadamente buenos o malos, la adherencia es aproximadamente un 50% a 60% de la resistencia de la pasta a los 7 días. (Polanco Rodríguez, 2012).

Muchos estudios han demostrado que para una resistencia a la compresión alta con un alto contenido de cemento y baja relación agua/cemento, el tamaño máximo del agregado debe mantenerse en el mínimo posible (12.7 mm ó 9.5 mm). Tamaños máximos de 19.0 mm y 25.4 mm se han usado con éxito para la elaboración de hormigones de alta resistencia (Portugal, 2007).

La segregación, es decir la capacidad de los agregados de separarse de la pasta de cemento, está influenciada también por el tamaño máximo del mismo, ésta se produce debido a la velocidad que adquieren los agregados cuando el concreto se encuentra en movimiento, ya sea durante el transporte o

colocación; por un lado aparecerá una fuerza, que según la segunda ley de Newton, es directamente proporcional con la masa de la partícula, es decir con el cubo de su diámetro, que la impulsa a separarse de la mezcla y por otro la fuerza de fricción debido a la viscosidad de la pasta cementante que trata de mantenerla en su posición, esta última fuerza depende del cuadrado del diámetro de las partículas por lo tanto al aumentar el tamaño de las partículas la fuerza de separación se incrementa más que la de retención.

También se considera que la alta resistencia producida por agregados de menor tamaño se debe a una baja en la concentración de esfuerzos alrededor de las partículas, la cual es causada por la diferencia de los módulos elásticos de la pasta y del agregado.

El tamaño máximo del agregado está determinado también por las características de las estructuras a ejecutar, así que debe quedar definido por la facilidad en que pueda entrar en los encofrados y entre las barras de la armadura, para ello según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (Comité ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construcción, 2013).

El tamaño nominal de las partículas más grandes del árido grueso no debe ser mayor que:

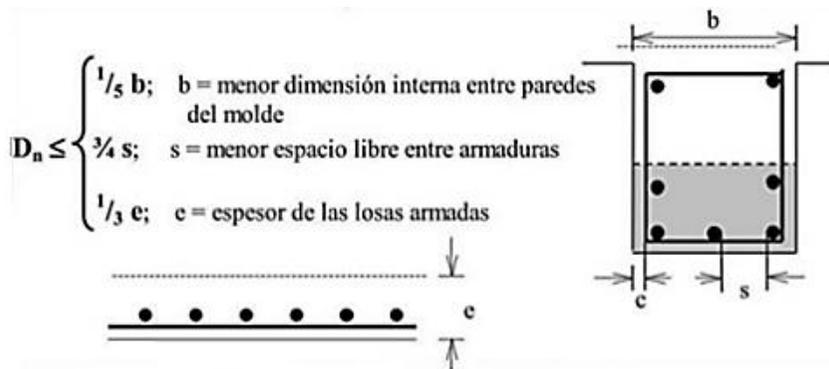


Ilustración 2 Tamaño máximo de agregado según la estructura a realizar

- 1/5 de la menor dimensión de la sección transversal del elemento a construir.
- 1/3 del espesor de la losa.
- 3/4 del espaciamiento libre entre varillas o paquetes de varillas de acero de refuerzo,
- cables de pretensado o ductos embebidos.
- El recubrimiento de las varillas de acero de refuerzo.

2.2.4. FORMA Y ANGULOSIDAD

Esta es otra de las características del agregado que tiene influencia en las características del hormigón resultante, tanto en estado fresco como endurecido, su influencia es fundamental en la trabajabilidad.

Las partículas según su forma pueden clasificarse en: redondeada; si tienen sus bordes totalmente desgastados por el agua o completamente limadas por rozamiento (grava de río, arena del desierto o de playa), y angular; si posee aristas bien definidas que se forman en la intersección de caras más o menos planas (rocas trituradas).

Dentro de estos dos grandes grupos se pueden encontrar: partículas regulares, elongadas o agujas y planas o lajas. Las partículas regulares son las que tienen sus tres dimensiones similares, Las lajas o planas son partículas con una dimensión notablemente menor a las otras dos; las agujas o elongadas son partículas alargadas, con una dimensión muy superior a las otras dos.

Según las normas BS 812 (británica) y NLT 354 (española) (Vivar), se clasifica como partícula plana aquella cuya dimensión menor (espesor), es inferior a $3/5$ (0,6) de la dimensión media de la fracción y partícula elongada o aguja es aquella cuya dimensión máxima (longitud), es inferior a $9/5$ (1,8) de la dimensión media de la fracción. Se entiende como dimensión media de la fracción del árido, el valor medio de las dos aberturas de las dos cribas que se usan para limitar la referida fracción.

Las partículas planas o elongadas pueden romperse con facilidad durante la compactación debido a que una laja o aguja puede apoyarse sobre otras dos partículas cortas dejando un vacío, y como es lógico, al estar colocada

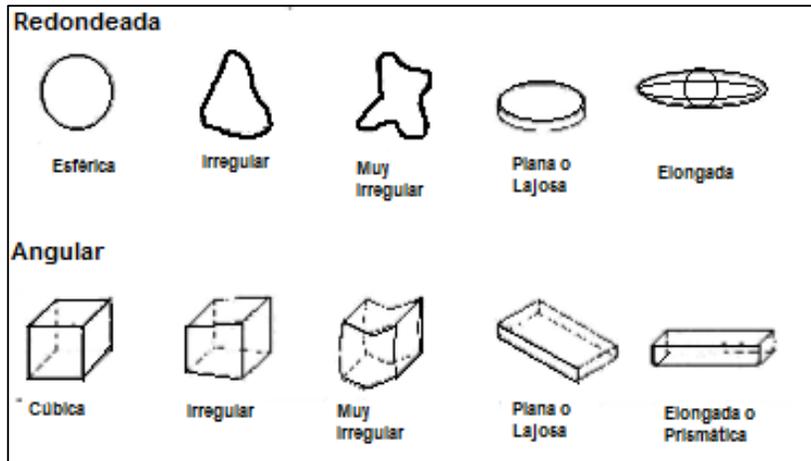


Ilustración 3 Clasificación de los agregados según su forma

horizontalmente, donde tienen menor resistencia, una excesiva presencia de las mismas puede provocar, una vez endurecido el hormigón una notable disminución de la resistencia a la flexión. Adicionalmente las partículas de estas formas son difíciles de mover puesto que se traban reduciendo notablemente la trabajabilidad del hormigón.

Según las especificaciones del Ministerio de Transporte y Obras Públicas MOP Ecuador-2002, el porcentaje de lajas o agujas no debe ser mayor al 10 % para hormigón para carreteras. En la norma INEN 0872 agregados para hormigón, requisitos, no existe especificaciones para porcentaje máximo de partículas alargadas o planas, únicamente existen tablas para la clasificación de las partículas según su forma.

Otra característica morfológica de los agregados que debe ser tomada en cuenta es su angulosidad que determina el porcentaje de partículas que tiene dos o más caras de fractura con aristas vivas, la angulosidad influye en el grado de rozamiento interno y por lo tanto en la resistencia del compuesto.

Según las especificaciones MOP-Ecuador 2002, el porcentaje de una y dos caras fracturadas será por lo menos de 85 % y 80 % respectivamente. En resumen los áridos cúbicos son los más adecuados, por su buena forma y angulosidad.

2.2.5. TEXTURA SUPERFICIAL

La textura superficial de las partículas es otro aspecto físico del agregado que influye en el hormigón resultante, y determina el grado en que la superficie de una partícula es: pulida o lisa; suave o áspera. La textura de la partícula junto con su angulosidad influye en el grado de rozamiento interno del hormigón, una textura áspera produce una mayor fuerza de adhesión entre las partículas y la pasta de cemento endurecida.

También influyen sobre el contenido de agua de un hormigón en estado fresco, especialmente la fracción fina del agregado.

En la norma INEN 0872 en la que se establece los requisitos para los agregados se presentan las siguientes tablas que permiten clasificar los agregados por su forma y textura.

2.2.6. ABSORCIÓN Y HUMEDAD SUPERFICIAL

La absorción de un agregado mide la cantidad de agua que es capaz de retener el agregado en sus poros, se determina en laboratorio (norma INEN 856 basada en las normas ASTM C 127 y 128, para agregados gruesos y finos, respectivamente), midiendo el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca.

El estado del agregado con todos los poros abiertos llenos y sin agua en su superficie se conoce como saturado superficialmente seco (Asss), el agregado se considera como "seco" cuando se ha mantenido a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por suficiente tiempo para remover toda el agua no combinada.

Los otros dos estados de humedad en los cuales se encuentra normalmente el árido de trabajo son: parcialmente seco, que es el estado en el que tiene agua en una parte de sus poros y totalmente húmedo que es el estado en que el árido está totalmente saturado y con agua superficial.

La medida de la absorción del agregado, junto con el contenido de humedad, es de gran importancia en la determinación del agua de amasado y en la relación agua/cemento del diseño de las mezclas. El agua de amasado es el total del agua presente en el hormigón, sin tomar en

Grupo	TEXTURA SUPERFICIAL	CARACTERISTICAS	EJEMPLO
1	Vítrea	Fractura concoidea	Pedernal negro
2	Suave	Lisura debido a la fractura de rocas laminares o de grano fino	Horteno, pizarra, mármol, alguna riolita,
3	Granular	Fractura que presenta granos redondeados más o menos uniformes	Arenisca, oolitas
4	Cristalina	Contiene constituyentes cristalinos fácilmente visibles	Finas: basalto, traquita, queratófiro. Media: dolerita, granofiro, granulita, microgranito, algunas calizas, muchas dolomitas. Gruesa: gabro, gneis, granito, granodiorita, sienita.
5	Panaloide y porosa	Con poros y cavidades visibles	Escoria, piedra pó, mes, trass.

Tabla 4 Características superficiales

cuenta el agua contenida en los poros del agregado, por lo tanto el agua de amasado es la suma del agua superficial libre del agregado más el agua incluida en la preparación determinada en la relación a/c que es la relación de masas de agua de mezcla y de material cementante (generalmente cemento portland). La relación a/c se establece en el diseño considerando que el agregado se encuentra en estado Asss, por lo tanto debe ser corregido de acuerdo a la humedad real del agregado.

La humedad total de una muestra de agregado se obtiene con la relación:

$$W\% = \frac{W_{mh} - W_{ms}}{W_{ms}} * 100$$

Dónde:

W_{mh} : peso de la muestra humedad (g)

W_{ms} : peso de la muestra seca (g)

$W\%$: contenido de humedad

La humedad libre se refiere a la película de agua que rodea la superficie del hormigón y se obtiene restando, de la humedad total del agregado, su absorción. Cuando la humedad libre es positiva el agregado aportará con agua a la mezcla y al contrario cuando es negativa restará agua a la mezcla.

2.2.7. RESISTENCIA DEL AGREGADO

La resistencia del agregado convencional puede evaluarse de dos maneras que dependen de que si se conoce la roca madre, o si se trata de materiales naturales granulares sueltos. En el primer caso se determina la resistencia del agregado

realizándose ensayos de compresión sobre probetas cúbicas o cilíndricas de la roca, en estado saturado y aplicando la carga paralela a la dirección de los planos de clivaje o división. Un valor recomendado de resistencia a compresión es de 60 MPa. La resistencia a tracción es menor y está comprendida entre 1 y 8 MPa.

La evaluación cuando se presentan agregados de los cuales no se pueden obtener probetas, será la siguiente: en el caso de agregados finos, es posible realizar un ensayo de resistencia estructural, que consiste en moldear probetas de mortero de arena en estudio y comparar los valores de resistencia de esta serie de mortero con una serie patrón de idénticas características, elaborada con arena normalizada (NTE INEN 873:2009, 2009)

En el caso de los agregados gruesos no existen ensayos normalizados para la determinación de su resistencia, pero desde el punto de vista práctico, se puede resolver de igual forma, comparando con un hormigón elaborado con un agregado grueso de reconocidas buenas características. En este caso las dos series deben tener igual relación a/c, tipo de arena, contenido de cemento y proporciones entre agregado fino y grueso.

CAPÍTULO 3.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1. METODOLOGÍA

El plan de trabajo realizado puede dividirse en cuatro etapas. La primera consiste en la obtención e identificación de la materia prima procedente de los productos de desecho de la industria cerámica, que han sido rechazados para la venta debido a dos causas principalmente: defectos de cocción y por la rotura o defectos dimensionales. La segunda fase consiste en el procesamiento (trituration / tamizado) de esta materia prima, obteniéndose así el árido grueso reciclado que se utilizó en la elaboración del hormigón. La tercera etapa consistió en la caracterización de los áridos, determinación de las propiedades físico-mecánicas según las normas ASTM, recogidas en las normas INEN, y la cuarta y última etapa consistió en la fabricación del hormigón patrón y del hormigón cerámico para su caracterización y comparación.

3.2. MATERIALES

Para la fabricación del hormigón se empleó cemento Portland tipo I (marca Holcim). El agua utilizada en la fabricación y curado del hormigón es el agua potable de la Ciudad de Cuenca-Ecuador.

Los áridos naturales se diferencian en dos fracciones, una la fracción gruesa (grava) correspondiente a un tamaño mayor a 4 mm procedente de la mina San Martín ubicada a 15 Km de la ciudad de Cuenca, y una fracción fina, menor de 4 mm (arena andesítica) procedente de la mina de Bravo ubicada en Santa

Isabel al sur de la ciudad de Cuenca, a éstos se les llama en adelante como tal, agregados naturales.

El árido cerámico reciclado procede de la trituración de residuos de la Fábrica de cerámica Andina, llamado sancocho, material que no ha pasado control de calidad (paso ocho del proceso de fabricación de las piezas cerámicas). El proceso en síntesis es el siguiente:

- 1 Recepción de materias primas
- 2 Traslado de la pasta a los tanques
- 3 Mezcla de la pasta
- 4 Formación de la pieza
- 5 Secado de la pieza a temperatura ambiente
- 6 Pulido de piezas
- 7 Primera quemada de piezas a 1180°C de 8 a 20 horas dependiendo del espesor de las mismas (sancocho)
- 8 Controles de calidad y selección de las piezas, produciéndose el primer desecho de las piezas que no han sido por defectos en forma, dimensiones o fisuras.

El material obtenido luego de la trituración de estos desperdicios, en adelante se le llamará agregados cerámicos.

Para los dos tipos de agregados gruesos, naturales y cerámico, se consideró un tamaño máximo de agregado (TMA) de 19 mm (3/4"). Para decidir el tamaño del árido grueso se tomó en cuenta los siguientes criterios:

3.2.1. CRITERIO DE SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

Las razones para especificar límites en la granulometría y en el tamaño máximo del agregado se deben a que estas propiedades afectan las proporciones relativas de los agregados, el cemento y el agua necesarios para elaborar un cierto concreto, así como la manejabilidad, economía, porosidad y contracción del mismo.

Debido a que el agregado cerámico proviene de la trituración de piezas de cerámica de espesor pequeño y para evitar que el agregado resultante tenga un elevado índice de lascas y agujas se trabajara con tamaño máximo de 19 mm. Esta decisión se basa también en el hecho, ya sustentado anteriormente, de que se obtienen mayores resistencias a la compresión manteniendo el tamaño máximo de agregado en el mínimo posible.

De acuerdo a este tamaño máximo establecido y según la norma ASTM C33-03 Especificación Normalizada de Agregados para Concreto, que sostiene:

“El tamaño máximo del agregado que debe usarse en las diferentes partes de la obra será: Estructuras de concreto en masa: muros, losas y pilares de más de 1.0 m de espesor, tiene que tener un tamaño máximo de 51 mm (2"). Muros, losas, vigas, pilares, etc., de 0.30 m a 1.00 m de espesor, tiene que tener un tamaño máximo de 38 mm (1 ½"). Muros delgados, losas, alcantarillas, etc., de menos de 0.30 m de espesor, tiene que tener un tamaño máximo de 19 mm (¾").”

El hormigón que va a ser ensayado queda restringido entonces, para el tipo de obra mencionado en la parte superior.

3.3. FABRICACIÓN DEL AGREGADO CERÁMICO



Ilustración 4 Chamota procedente de la
Fabrica Cerámica Andina

Para obtener la granulometría, con el tamaño máximo decidido del agregado cerámico, fue necesario triturar la chamota para recomponer sus tamaños y cumplir así con la norma. En la Ilustración 4 se presenta una muestra del material antes de triturar.

La trituración se realizó en la trituradora de mandíbulas perteneciente al Proyecto CESEMIN de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, presentada en la Ilustración 5.



Ilustración 5 Trituradora de mandíbulas Proyecto
CESEMIN Facultad de Ciencias Químicas.
Universidad de Cuenca

Se procedió con una primera trituración con dos pasadas continuas del material con la finalidad de obtener, por simple inspección visual, el tamaño aproximado a 2 cm en las piezas más grandes; en el materia triturado resultante se aplicó un análisis granulométrico en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca. Los resultados del análisis granulométrico se presentan en el Anexo 2. A continuación se reportan la curva granulométrica obtenida junto a los límites que especifican los porcentajes aceptables para el tamaño de 19 mm de la Norma INEN 696.

Como puede observarse en la Ilustración 6, el material triturado se mantiene dentro de los límites establecidos, a excepción del tamiz de 4,75 mm, este comportamiento era esperado, debido a que el proceso de trituración produce un alto porcentaje de partículas de diámetro menor a 4,75 mm, que, de ahora en adelante se llamará, material fino del agregado cerámico. Para analizar la influencia de este material fino en el hormigón resultante se decidió probar dos tipos de agregado cerámico, uno que incluye todo el material obtenido de la trituración y otro sin material fino.

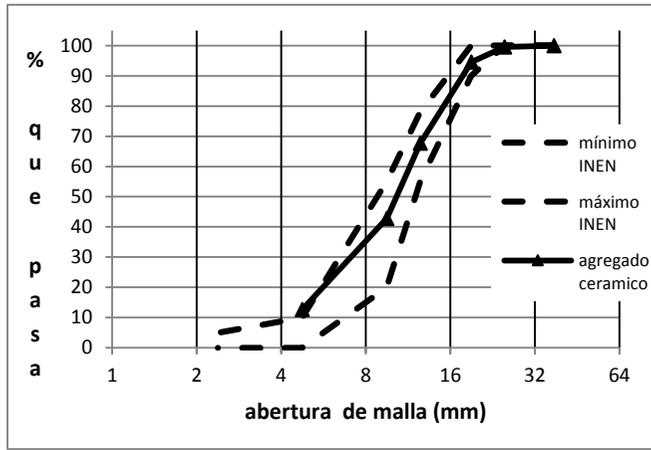


Ilustración 6 Granulometría material cerámico triturado



Ilustración 8 Material triturado completo con partículas de diámetro menor a 4.75mm



Ilustración 10 Material triturado sin finos sin partículas de diámetro menor a 4.75mm

En las Ilustraciones 7 y 8 se presentan los agregados cerámicos en las dos condiciones.

Para conseguir la eliminación de la parte fina del agregado cerámico se procede a realizar un lavado inicial para, luego de secar el material restante, realizar un cribado manual sobre una malla de abertura 4,75 mm. En las Ilustraciones 9, 10 y 11 se presentan imágenes del proceso descrito.



Ilustración 7 Lavado del material



Ilustración 9 Material retenido en tamiz 4,75mm



Ilustración 11 Material pasante el tamiz 4,75mm

Los procesos de recomposición granulométrica aplicados a los agregados cerámicos con y sin finos se presentan en el diagrama a continuación.

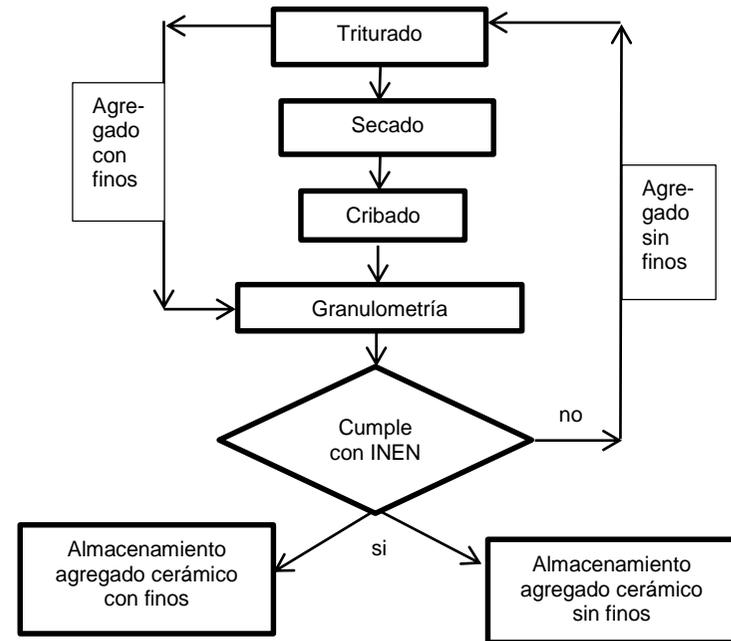


Diagrama 1 Proceso de fabricación del agregado

3.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁRIDOS

Las muestras de los áridos a caracterizar se obtuvieron según la norma INEN 0695 (2010) (Spanish): Áridos. Muestreo; teniendo siempre presente que debemos de garantizar que sean representativas del conjunto.

3.4.1. PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas estudiadas para los agregados gruesos fueron la granulometría, humedad, absorción, y peso específico. Los resultados se presentan en conjunto para los agregados naturales y reciclados con fines de comparación. Las propiedades físicas estudiadas para el agregado fino fueron la granulometría, módulo de finura, humedad, absorción y densidad relativa.

Todos los ensayos fueron realizados en el laboratorio de suelos y materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca.

3.4.2. GRANULOMETRÍA

La granulometría de los agregados gruesos naturales y cerámicos, se realizaron de acuerdo a la norma ASTM D-422-63, esto permitió realizar comparaciones bajo las mismas condiciones. En la Ilustración 12 se muestran las curvas granulométricas de los dos tipos de agregados gruesos: el natural y el cerámico.

Como puede observarse tanto el agregado grueso cerámico como el natural tienen granulometrías cercanas a los rangos establecidos por el INEN para aceptación de agregado grado 19 mm. La granulometría del agregado grueso cerámico presentada es el promedio de los valores obtenidos en tres muestras distintas (ver anexo 3). El resultado del análisis granulométrico del agregado grueso natural se puede observar en el anexo 4.

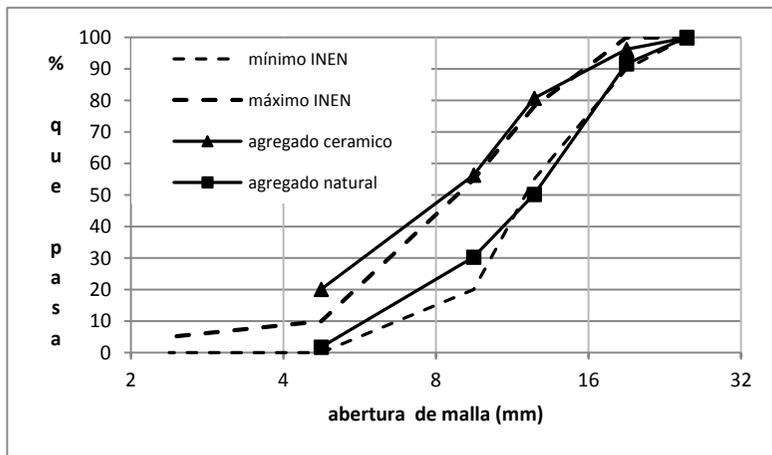


Ilustración 12 Granulometría de agregado grueso cerámico y agregado grueso natural

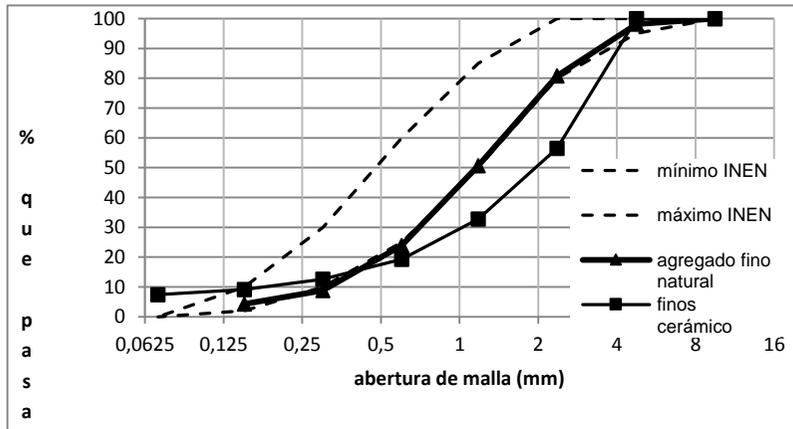


Ilustración 13 Granulometría de agregado fino natural y fino cerámico

La ilustración 13 se muestra la curva granulométrica del agregado fino natural (arena) y del agregado fino cerámico, realizada con la norma ASTM D-422-63. (Ver informe de granulometría anexo 5)

El módulo de finura (MF), obtenido de acuerdo con la norma ASTM C 125, para la arena utilizada fue de 3,33, el rango de valores para el módulo de finura, establecido para agregados finos de peso normal, por el ACI es de 2,0 a 3,3 (ACI, 2007, págs. E1-3), por lo tanto la arena utilizada en el diseño de mezclas queda clasificada como gruesa.

Como puede observarse la fracción fina del agregado cerámico no se encuentra dentro de los límites establecidos el por el INEN para agregado fino. El módulo de finura de la fracción fina de agregado cerámico es de 3,7; por lo tanto está fuera de los rangos establecidos por el ACI.

3.4.3. HUMEDAD

La humedad que tenían todos los agregados (naturales, cerámicos) en el momento de la fabricación de las muestras para los ensayos, se midió siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM C 566.

Las humedades correspondientes se determinaron en los tres días en que se elaboraron las mezclas. Los valores de humedad obtenidos se presentan en la tabla 5.

Agregado	Día 1		Día 2		Día 3	
	Agregado	Humedad %	Agregado	Humedad %	Agregado	Humedad %
Fino natural	Fino natural	2,7	Fino natural	5,47	Fino natural	8,14
Grueso natural	Grueso cerámico con finos	0,39	Grueso cerámico con finos	4,79	Grueso cerámico sin finos	0,5

Tabla 5 Humedad de los agregados

Se observa claramente que los agregados gruesos reciclados que incluye finos, tenían una humedad mayor que los naturales, a diferencia de los agregados cerámicos sin finos esto se debió a que para conseguir la eliminación de los finos de trituración se procedió previamente al secado del agregado para posteriormente realizar el tamizado manual.

Estos valores de humedad se utilizaron para realizar las correcciones en la cantidad de agua final de las mezclas de concreto.

3.4.4. ABSORCIÓN

Esta propiedad se midió de acuerdo con la norma ASTM C 127 y 128 para agregados gruesos y finos, respectivamente (informe en anexo 6). Los resultados se muestran en la tabla 6. Como puede observarse los agregados gruesos reciclados son notablemente más absorbentes que los agregados naturales.

La absorción determinada en el agregado fino natural (arena) es de 4,9 %, los valores de aceptación para agregado de peso normal están entre el 0% y el 5%, (Kosmatka S.H., 1992), por lo tanto la arena utilizada está dentro de los límites de aceptación, en cuanto al agregado grueso natural presentó una absorción del 3,89%, el rango de valores de aceptación para este tipo de agregado es del 0% al 4% (ACI, 2007), el valor de agregado natural está muy cercano del límite superior, sin embargo esta no es razón para desecharlo.

Los valores de absorción tanto del agregado grueso cerámico y fino cerámico estaban muy por encima de los límites admitidos. Una medida que se tomó para contrarrestar los efectos perjudiciales de la alta absorción del agregado, fue colocar, durante el proceso de amasado de la mezcla, la mitad de la cantidad de agua determinada con el agregado grueso únicamente y mezclar por más de 3 minutos para propender a una absorción inicial importante.

Agregado	Absorción %
Grueso Natural	3,89
Grueso Cerámico	14,97
Fino natural	4,90
Fino cerámico	14,39

Tabla 6 Absorción de los agregados



Ilustración 14 Mezclado inicial de agregado cerámico

3.4.5. PESO ESPECÍFICO (DENSIDAD RELATIVA Y/O GRAVEDAD ESPECÍFICA)

Agregado	Densidad Relativa
Grueso natural	2,65
Grueso cerámico	1,85
Fino natural	2,36
Fino cerámico	1,83

Tabla 7 Densidad Relativa (adimensional)

El peso específico o densidad relativa de los agregados es una medida de la porosidad del material, un mayor valor de densidad relativa refleja un menor número de huecos presentes. A pesar de que el peso específico del agregado no es tomado generalmente como un indicador de calidad del agregado, sin embargo algunos agregados con un alto grado de porosidad, presentan deterioros acelerados en exposición a ciclos de congelación-deshielo.

EL peso específico de los agregados utilizados se midió de acuerdo con las normas ASTM C 127 y 128 (ver anexo 6), para agregados gruesos y finos, respectivamente. En la tabla 7 se presentan los resultados obtenidos. Se aprecia que la densidad de los agregados reciclados fue menor que la de los naturales.

El valor de la densidad relativa para el arena fue de 2,36 y el agregado grueso natural presentó un valor de densidad relativa de 2,65; el rango de valores normales de densidad relativa para la mayoría de los agregados naturales es de 2.40 -2.90 (Kosmatka S.H., 1992), por lo tanto podemos concluir que los agregados finos y gruesos naturales, son aptos para elaborar hormigones de cualquier resistencia; la densidad relativa del agregado cerámico grueso y del fino tiene valores de 1,85 y 1,83 respectivamente, es decir muy por debajo del mínimo recomendado, por lo que se concluye que el agregado cerámico sería apto para producir hormigones de baja resistencia.

3.5. ELABORACIÓN DE CONCRETOS

De aquí en adelante, a los concretos fabricados con los agregados naturales se les llama "concretos naturales", y a los fabricados con agregados cerámicos se les llama "concretos cerámicos". En ambos tipos de concreto se utilizó arena natural de andesita con las propiedades físicas descritas anteriormente.

Las mezclas diseñadas se realizaron a lo largo de tres días, procediéndose a realizar en el primer día la mezcla patrón (etiquetada MP) con 100% de grava natural, el segundo día se realizó la mezcla con 100% de grava triturada completa (etiquetada MC) y el tercer día con 100% de grava cerámica sin finos de trituración (etiquetada MCSF).

Luego de realizar estas mezclas y con el objetivo de comprobar los valores de resistencia obtenidos se realizó una nueva mezcla con cerámica obtenida inmediatamente de ser desechada en la fábrica (sin exposición al medio ambiente).

3.5.1. DISEÑO O PROPORCIONAMIENTOS DE MEZCLAS

El diseño de una mezcla de concreto puede definirse como el proceso para seleccionar los ingredientes más adecuados y sus cantidades relativas, para obtener de la manera más económica posible, un hormigón con un mínimo de características establecidas entre las que se destacan consistencia, resistencia y durabilidad. (Neville, 1980)

No existe un método exacto para determinar el proporcionamiento del hormigón, esto es debido a la variabilidad de sus componentes, volviéndose entonces imposible cuantificarlos con exactitud, los valores obtenidos en el diseño deben ser tomados como valores racionalmente aproximados con los que se obtendrá una mezcla satisfactoria,

bajo las condiciones presentes en el momento del diseño, si cambian las condiciones se debe realizar nuevos diseños, entonces los procesos de diseño son básicamente procesos de ensayo-error.

El método de diseño utilizado en el presente trabajo es el método RNL (Road Note Laboratory) (Neville, 1980, p. 297), que se usa cuando hay que efectuar una optimización a los agregados disponibles y establece la cantidad de agua, en función la relación agua/cemento y agregado/cemento, en lugar de establecer en función únicamente de la trabajabilidad como en el método ACI. El método RNL consiste en los siguientes pasos:

- Se determina la resistencia mínima a la compresión (f'_{cr}) a los 28 días; esta resistencia mínima o resistencia de diseño se estableció de acuerdo a la norma INEN 1852, que determina que para hormigones de resistencia entre 20 a 35 MPa cuando se desconoce la desviación estándar entre la resistencia mínima y media (f'_c) y en condiciones muy buenas de fabricación del hormigón se debe tomar igual a $f'_c + 8,3$ MPa, entonces para el diseño se tomó $f'_{cr} = 29,3$ MPa.
- Se establece la relación a/c que de acuerdo a la tabla: Comparación entre la resistencia a la compresión y la relación agua/cemento (Neville, 1980, p. 299) (ver anexo 7). Obteniéndose de una relación $a/c = 0.58$, esta relación agua/cemento es adecuada desde el punto de vista de durabilidad.
- Se determina la relación agregado/cemento (a/c) que está influenciada junto con la relación agua/cemento por la durabilidad de la obra, la trabajabilidad necesaria, el tamaño máximo de agregado y la granulometría del

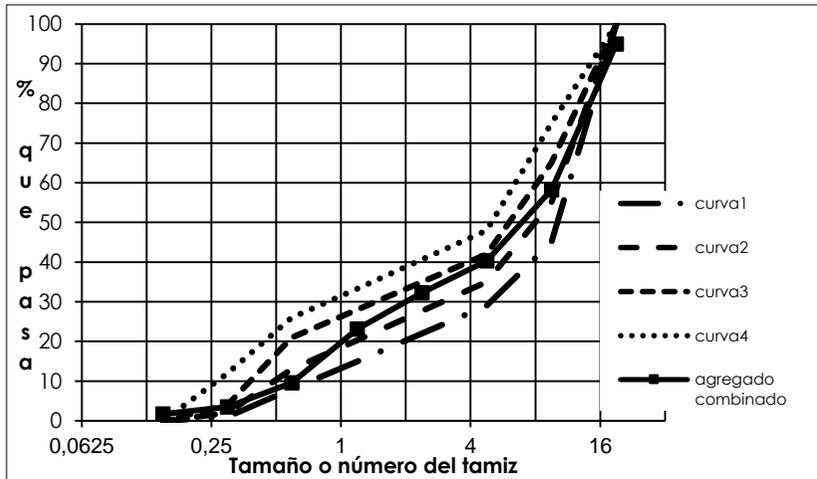


Ilustración 15 Ajuste granulométrico de la arena y grana natural

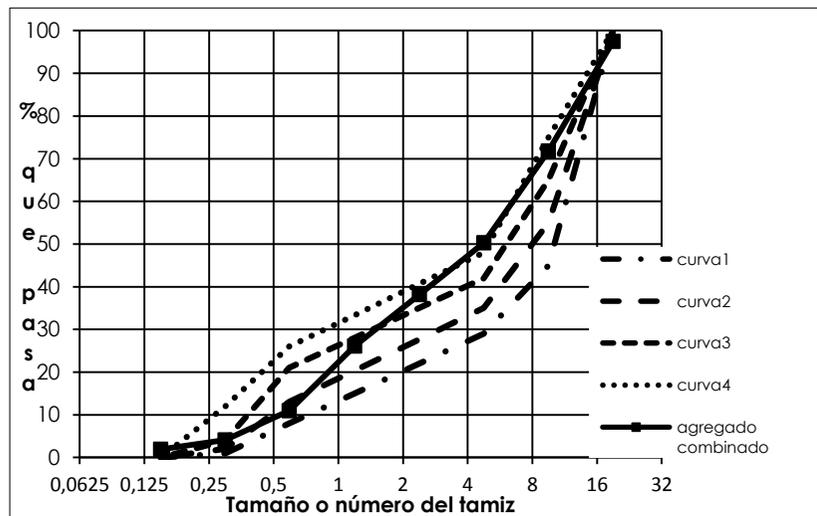


Ilustración 16 Ajuste granulométrico de la arena y grana cerámica

mismo. En consecuencia, de acuerdo a las tablas del Road Note (anexo 8), se establece por interpolación una relación $a/c = 5.05$.

- Se realiza una combinación de agregados, grueso y fino, para obtener una granulometría tipo, este proporcionamiento de los materiales granulares, se realizó para que la granulometría de la combinación se ajuste a una de las tres zonas A, B o C presentada en las curvas granulométricas de Road Note para agregados de 19,5 mm (3/4") presentadas en el libro de Neville Tomo1 capítulo 3.
- Para los agregados naturales, se obtiene el ajuste presentado en la ilustración 15 presentada a continuación, con una relación de 40% de arena y 60% de grava.
- Para la misma relación de arena y agregado cerámico se consigue la granulometría presentada en la ilustración 16.

Elemento	Peso en kg	Corrección por humedad			Corrección por asentamiento y densidad
		Agua de absorción en kg	Humedad en kg	Peso corregido	
Agua	154,6			230,7	235
Cemento	257,7			257,7	310
Arena	618,5	21,6	33,8	652,3	810
Grava cerámica sin finos	927,7	132,7	44,4	972,2	1200
Total	1958,5	154,3	78,2	2112,9	2555

Tabla 8 . Diseño mezcla cerámica sin finos MCSF

Elemento	Peso en kg	Corrección por humedad			Corrección por asentamiento y densidad
		Agua de absorción en kg	Humedad en kg	Peso corregido	
Agua	193			210,8	200,2
Cemento	321			321	303,7
Arena	712	25,1	19,4	737,2	748,5
Grava natural	1078	16,2	4,2	1082,6	1097,5
Total	2304	41,3	23,6	2381,6	2350

Tabla 9 Diseño mezcla patrón MP

Elemento	Peso en kg	Corrección por humedad		
		Agua de absorción en kg	Humedad en kg	Peso corregido
Agua	154,6			259,8
Cemento	257,7			257,7
Arena	618,5	21,6	50,3	668,8
Grava cerámica con finos	927,7	138,5	4,6	932,4
Total	1958,5	160,1	54,9	2118,7

Tabla 10 Diseño mezcla cerámica con finos MC

Para la elaboración de las mezclas de concreto se utilizó el método de cálculo de volúmenes absolutos (Neville, 1980, p. 325). En este método se determina la cantidad, en peso, de los ingredientes para producir un metro cúbico de concreto, obteniéndose el proporcionamiento presentado en las tablas 8, 9, 10 y 11, conjuntamente con los pesos corregidos por humedad absorción y asentamiento:

Los cilindros y viguetas elaboradas con las diferentes mezclas se nombraron de la siguiente manera: las elaboradas con agregado natural se etiquetaron como MP de 1 al 6 los cilindros y DM de 1 al 6 las viguetas, las elaboradas con agregado cerámico con finos como MC del 1 al 6 los cilindros y MC del 1 al 6 las viguetas y las elaboradas con agregado cerámico sin finos MCSF del 1 al 6 los cilindros.

Para la elaboración del segundo lote de muestras realizadas con cerámica nueva, con el material total obtenido del proceso de trituración, se realizó una saturación previa del material cerámico, con el fin de que en el momento de mezclado el agregado cerámico no absorba agua de la mezcla. Adicionalmente se debe indicar que la arena utilizada fue la misma utilizada en el primer lote de muestras, el proporcionamiento inicial y los pesos corregidos se presentan en la tabla siguiente

Los cilindros elaborados con cerámica nueva se nombraron HC de 1 al 9. De los cuales, tres se probaron a compresión a los siete días, tres a los 28 días y con los otros tres se determinó la absorción del hormigón.

3.6. ENSAYOS DE LABORATORIO

Elemento	Peso en kg	Corrección por humedad			Corrección por asentamiento y densidad
		Agua de absorción en kg	Humedad en kg	Peso corregido	
Agua	155,4			82,3	105,1
Cemento	259			259	333,8
Arena	621,7	21,8	53	674,7	523,6
Grava cerámica completa	932,6	139,2	181	1113,7	1308,1
Total	1968,7	161	234	2129,7	2270,7

Tabla 11 . Diseño mezcla cerámica nueva HC

Los concretos elaborados se mezclaron en una concreteira basculante, de un saco de cemento (50 Kg) de capacidad. El procedimiento de mezclado seguido para la mezcla patrón fue: se colocó la grava en la máquina y se agregó la mitad del agua, se mezcló por un minuto, luego se agregó el cemento, seguidamente la arena y el resto del agua mezclando por aproximadamente tres minutos más. En las mezclas con los agregados cerámicos se procedió en el mismo orden, con la variante del tiempo del mezclado del agregado cerámico y la mitad de la cantidad del agua, que fue de tres minutos.

Los ensayos de laboratorio practicados a los concretos elaborados fueron: en estado fresco, asentamiento o revenimiento y densidad y en estado endurecido fueron: densidad, resistencias a compresión y a flexión, así como el módulo de elasticidad, según los procedimientos establecidos en las normas INEN y ASTM correspondientes.

Para los ensayos de compresión y flexión se elaboraron cilindros de 0.10 x 0.20 m y viguetas de 0.15 x 0.15 x 0.50 m, respectivamente, todos los especímenes fueron preparados y curados de acuerdo con las normas (NTE INEN, 1576, 2011) ASTM C 42, ASTM C 31. En la figura siguiente se pueden observar algunos pasos de estos procesos.

Las propiedades de resistencia a la compresión y a flexión se estudiaron a las edades de 7, y 28 días, en las mezclas patrón y en la mezcla cerámica con finos; en la mezcla cerámica sin finos se evaluó la resistencia a compresión a los 7 y 28 días.



Ilustración 17 Concretera basculante utilizada



Ilustración 18 Elaboración de viguetas y cilindros para ensayos de compresión y flexión

3.7. PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO

3.7.1. REVENIMIENTO

Para obtener el revenimiento de las mezclas de concreto se utilizó el procedimiento establecido en la norma INEN 1578 (2010) basada en la norma ASTM C 143. En la tabla siguiente se presentan los asentamientos obtenidos de las mezclas definitivas, es decir después de ser corregidos los pesos por asentamiento. Como se puede observar el asentamiento final obtenido en la mezcla cerámica con finos es menor a los obtenidos en las mezclas patrón y cerámica sin finos, esto se debe sin duda a la gran absorción de este material.



Ilustración 19 Asentamiento medido mezcla cerámica nueva completa

Mezcla	Asentamiento (cm)
MP	10,5
MC	7,8
MCSF	11
HC	8

Tabla 12 Asentamiento obtenido

3.8. PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO

3.8.1. DENSIDAD

Se procedió a pesar y medir cada cilindro con la finalidad de determinar la densidad del hormigón endurecido a los 28 días de acuerdo a la norma ASTM 138. En la tabla 12 a continuación se presentan los valores obtenidos, en esta se observa que los pesos volumétricos obtenidos para los hormigones cerámicos son menores al valor obtenido para el hormigón natural, que tiene un valor de densidad dentro de los rangos de hormigón bien compactado de áridos normales que oscila entre 2300-2500 kg/m³.

Mezcla	Densidad (kg/m³)
MP	2465
MC	2046
MCSF	2053
HC	1958

Tabla 13 Densidad obtenida

La densidad de los hormigones cerámicos, cercanos a los 2000 Kg/m³, es evidentemente consecuencia de la menor densidad de agregado cerámico con respecto al natural, este menor peso por unidad de volumen sin embargo no permite clasificarlo como hormigón liviano puesto que estaría por encima de la densidad máxima establecida para hormigones livianos de 2000 Kg/cm³. (Neville, 1980).

3.8.2. ABSORCION

La absorción total se considera como un criterio de durabilidad del hormigón y determina la porosidad, es decir los espacios huecos que están comunicados entre sí.

La prueba de absorción se llevó a cabo sobre tres probetas de hormigón que fueron extraídas de la piscina de curado luego de 7 días, se las pesó después de que se secó su superficie, para obtener el peso saturado superficialmente seco, luego se las seco al horno y se pesó nuevamente, comprobando que estaban totalmente secas debido a que no hubo variación en dos pesadas sucesivas. Entonces se calculó la absorción al dividir la pérdida de peso entre el peso obtenido después de haberla secado al horno.

El valor promedio de absorción obtenido fue de 20,8%. De acuerdo al criterio del Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado CYTED (CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. DURAR (Durabilidad de la Armadura., 2006) Presentado en la tabla 14 el hormigón cerámico es de durabilidad inadecuada.

Porcentaje de Porosidad	Calidad del hormigón
≤ 10%MP	Concreto de buena calidad y compactación
10% - 15%MC	Concreto de moderado calidad
>15%MCSF	Concreto de durabilidad inadecuada

Tabla 14 Criterios de evaluación de la porosidad, según Manual de la Red DURAR

3.8.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión de las mezclas de concreto se obtuvo siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM C 39. En la ilustración 20 se puede observar el proceso de aplicación de carga en dos cilindros, el primero de la izquierda a la edad de 7 días y el de la derecha a los 28 días.

Las resistencias a la compresión promedio obtenidas se presentan en la tabla 15.



Ilustración 20 Ensayo a compresión en cilindro de 10 x 20 cm

Mezcla	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	
	7 días	28 días
MP	134	211
MC	39	63
MCSF	49	88
HC	47	80

Tabla 15 Resistencia a Compresión



Ilustración 21 Tipo de fractura de cilindro



Ilustración 22 Acercamiento de muestra fallada por compresión



Ilustración 23 Ensayo a flexión en vigueta de 15 X 15 X 50 cm.

Las resistencias obtenidas son con la misma relación agua/cemento, se observa que las resistencias de los hormigones cerámicos son muy deficientes, aunque el del hormigón obtenido con el agregado cerámica sin finos presenta mejores valores que los del hormigón obtenido con el agregado cerámico con finos tanto de cerámica nueva como vieja.

En las fotografías adjuntas se puede observar el tipo de fractura con que fallaron los cilindros.

Como puede observarse la falla de los cilindros tiene la forma normal de falla a compresión, quedando en forma de reloj de arena, en el acercamiento se puede observar un desprendimiento del agregado cerámico de la pasta debido a falta de adherencia.

3.8.4. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a tracción del hormigón, se expresa mediante el Módulo de Rotura MR en Kg/cm², la resistencia a flexión o MR para concretos de pesos normales esta normalmente entre el 10 al 20 % de la resistencia a compresión, para los concretos de la muestra patrón y muestra cerámica, se determinó el MR de acuerdo a la norma ASTM C 78 (cargas en los tercios). En la imagen presentada en la siguiente figura se presenta la aplicación de carga en una vigueta.

En la tabla 16 se presentan los valores obtenidos de MR

Mezcla	Resistencia a la flexión (MR)	Resistencia a la flexión (MR)	Porcentaje de resistencia a compresión
	(kg/cm ²)	(MR)	(kg/cm ²)
	7 días	28 días	28 días
MP	26,3	32,66	16,5 %
MC	10,04	18,18	28.9 %

Tabla 16 Resistencia a Flexión

Para los hormigones normales el valor del MR está dentro de los valores esperados a diferencia del hormigón cerámico en que se obtiene un valor por encima del máximo esperado.

Los ensayos tanto de compresión como de flexión realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca. Los cuadros completos de estos ensayos se presentan en el anexo 9.

3.8.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD

A través del módulo de elasticidad E_c , se determina deformaciones elásticas mediante la relación lineal entre esfuerzo unitario y la deformación específica para un elemento sometido a tracción o compresión simple, calculado con la expresión:

$$E_c = \frac{P/A}{\delta/L} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dónde:

$P/A = \sigma$ esfuerzo en Kg/cm²

$\delta/L = \varepsilon$ deformación en cm/cm

Esta ecuación se aplica exclusivamente en los cálculos de elementos sometidos a tracción y compresión simple, siempre y cuando estén trabajando en el rango elástico.

El módulo de elasticidad es dependiente de muchas variables entre ellas la resistencia del concreto, la edad del mismo, la calidad de los agregados, del cemento, la velocidad de aplicación de la carga, el tipo de probeta (cilindro o viga), estado de humedad de la muestra, etc. Por consiguiente no es posible predecir el valor de E_c para un hormigón dado.

Debido a que la curva esfuerzo-deformación del hormigón no es una recta, ya que este material no tiene comportamiento elástico, aún en niveles normales de esfuerzo, sin embargo se toma la parte inferior de la curva que es relativamente recta, como correspondiente a un comportamiento elástico.

Se tomó entonces el valor del E_c secante, que define la deformabilidad del concreto y es igual, de acuerdo a ASTM, a la pendiente de la recta que pasa por los puntos correspondientes a una deformación de 0.00005 y al 40 % de la carga máxima.

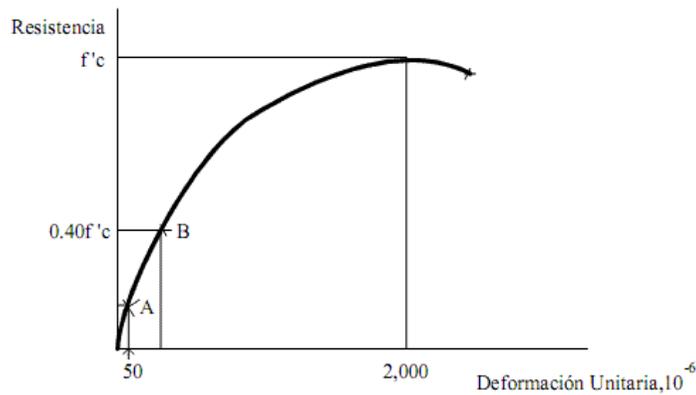


Ilustración 23 Curva Típica Esfuerzo-Deformación para el Concreto Bajo Compresión, y Puntos para Definir el Módulo de Elasticidad según ASTM C-469.

A continuación se presenta un resumen con los valores de E_c obtenidos

Cilindro	Diámetro en cm	Altura en cm	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Ec experimental en MPa
			28 días	
HC1	10,2	20	6123	3727,6
HC2	10,26	19,96	4667	3356,8
HC3	10,26	19,95	4902	2371,7
promedio	10,24	19,97	4784.5	3152

Tabla 17 Modulo de Elasticidad en MPa



Ilustración 24 Registro en laboratorio de deformación laterales y longitudinal

Los datos de deformación se obtuvieron utilizando dos deformímetros uno para registrar deformaciones longitudinales y otro para las deformaciones laterales, tal como se muestra en la ilustración siguiente

Existen varias propuestas de relaciones que permiten el cálculo del E_c de acuerdo a NEC capítulo 1 cargas y materiales pag. 29 El módulo de elasticidad para el hormigón, E_c (GPa), se puede calcular como la raíz cúbica del módulo de elasticidad del agregado E_a (GPa), por la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión del hormigón f'_c (MPa) y por el factor 1.15, así:

$$E_c = 1.15^3 \sqrt{E_a} \sqrt{f'_c}$$

De acuerdo a la tabla presentada en esta misma norma el agregado de menor E_a corresponde al agregado tipo Chert de la formación Guayaquil ubicada en el Guayas con un valor de 15.8 GPa, para este agregado teóricamente se obtendría un hormigón con E_c igual de 6,78 GPa es decir 6780 MPa valor muy superior al obtenido experimentalmente.

Podemos concluir a la luz de los resultados obtenidos que el hormigón cerámico tendría grandes deformaciones bajo la acción de cargas axiales, lo que impediría que la estructura construida con este hormigón cumpla con las solicitudes a que estaría sometida.

CAPÍTULO 4.- CONCLUSIONES RECOMENDACIONES

El buscar opciones para sustituir los componentes naturales del hormigón con alternativas menos agresivas con el medio ambiente es una necesidad latente debido a que la disponibilidad de los bancos de materiales naturales como los pétreos por ejemplo no son inagotables.

Este trabajo de investigación reveló que el agregado cerámico no produce hormigones de buena calidad, pues su comportamiento mecánico es muy deficiente en comparación al de los concretos naturales. Obteniéndose para el hormigón cerámico fabricado con el total del material obtenido en la trituración de la chamota, resistencias a la compresión a los 28 días de 63 Kg/cm², que representa el 30% de la resistencia del hormigón patrón, en tanto que para el hormigón cerámico obtenido con el agregado cerámico sin finos de trituración se determinaron una resistencia a compresión de 88 kg/cm² que constituye el 58%. Concluyéndose que es importante una preselección del material procurando la no inclusión de finos.

Los valores de absorción obtenidos de al rededor del 20% nos indica que el hormigón cerámico no es aplicable para la fabricación de hormigón estructural, pues constituiría una mala protección a los agentes ambientales (agua principalmente) para el armadura, lo que traería como consecuencia la corrosión de las mismas.

El valor del peso volumétrico del hormigón cerámico disminuyo entre un 10% y un 12% con respecto al hormigón patrón, según los resultados experimentales, ubicando al hormigón obtenido en el límite de la clasificación entre hormigón liviano y normal.

En las resistencias a la flexión, se encontró que para el concreto cerámico la relación $MR/f'c$ está en 0,289, valor muy superior al esperado en hormigones naturales que es entre 0,1 y 0,2, esta característica puede ser aprovechada para analizar la factibilidad de utilización de este tipo de hormigones para pavimentos que se especifican por su resistencia a la flexión, quedando por lo tanto sobredimensionados a la compresión. Sin embargo se debe comprobar que esta última sea adecuada.

El uso de agregado cerámico en los hormigones no estructurales, como los de relleno por ejemplo, tendría un efecto positivo en la disminución del impacto medio ambiental de la construcción y la disminución de los costos del hormigón.

Este trabajo que está enmarcado en el aprovechamiento del material de desperdicio cerámico se incluye dentro de una amplia línea de investigación de reciclaje de materiales para su uso en hormigones. Particularmente en este ámbito sería importante caracterizar el comportamiento a largo plazo de los hormigones resultantes enfocándose en la variación de la resistencia del hormigón.

De igual manera sería importante investigar la influencia del uso de aditivos químicos como los reductores de agua, por ejemplo para conseguir disminuir la relación agua cemento y determinar su influencia en la resistencia.

ANEXOS

Anexo 1: ESTADÍSTICAS DE LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL MINERO. MINISTERIO DE ENERGÍAS NO RENOVABLES

PRODUCCION NACIONAL MINERA REPORTADA
AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL MINERO
GESTION DE SEGUIMIENTO Y CONTROL MINERO

MINERAL/ANOS	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	TOTAL
ORO (grs.)	2.871.366,97	3.004.980,50	2.749.826,50	4.818.615,82	5.128.159,92	5.337.675,07	5.168.200,35	4.587.711,58	4.132.894,48	5.392.188,20	4.592.762,54	4.149.132,62	49.062.147,68
ORO (Onzas Troy)	92.326,91	96.623,17	88.418,86	154.939,41	164.892,60	171.629,42	166.180,07	147.514,84	132.890,50	173.382,26	147.677,25	133.412,62	1.577.561,00
PLATA (grs.)			96.341,50		371.959,35	283.200,00	158.828,05	448.964,00	304.780,00	115.597,33	1.168.902,58	1.398.012,03	4.346.584,84
PLATA (Onzas Troy)			3.097,80		11.960,11	9.106,11	5.107,01	14.436,14	9.800,00	3.716,96	37.585,29	44.952,16	139.761,57
CALIZA (ton.)	3.147.014,95	4.078.786,53	5.711.782,27	4.688.013,00	4.699.987,59	4.854.958,36	5.456.546,18	6.326.616,42	5.366.498,39	4.956.671,94	3.862.307,61	4.638.252,19	54.640.420,48
MAT. CONST.(m ³)	2.595.542,15	4.722.522,47	4.466.904,89	3.271.970,34	5.833.890,05	5.661.854,59	4.997.466,97	7.601.612,40	10.805.514,53	9.735.721,15	7.700.338,91	10.890.472,26	75.688.268,66
ARCILLA (ton.)	324.671,20	345.474,13	381.872,53	339.566,64	902.517,89	1.318.356,13	1.309.343,06	1.413.418,92	1.577.932,61	1.276.529,28	1.414.852,68	1.434.077,42	11.713.941,29
FELDESPATO (ton.)	47.041,35	60.688,27	31.254,00	44.267,92	53.469,08	38.249,69	67.843,54	63.557,39	86.888,86	111.985,07	156.888,06	83.480,87	798.572,75
CAOLIN (ton.)	11.022,49	703,19	8.483,23	11.883,68	5.646,17	25.078,26	11.504,21	18.617,69	42.613,90	28.775,00	41.089,40	76.659,75	271.054,48
BENTONITA (ton.)	40,96								3.526,35	1.177,89	510,27		5.214,51
SILICE (ton.)	27.522,17	34.718,43	40.880,13	38.856,29	32.147,72	37.789,55	36.208,37	33.907,40	24.799,13	73.920,57	60.018,80	75.634,35	488.880,74
MARMOL (ton.)	1.679,58		265,00	1.889,60	1.431,49	3.033,44	31.840,56						38.460,09
YESO (ton.)	1.042,50		4.730,00		232,00	1.310,50	1.478,00						7.750,50
POMEZ (ton.)	338.051,41	373.023,03	636.502,60	270.693,90	777.063,40	636.777,74	707.864,08	941.652,78	1.024.896,04	924.527,44	718.907,82	791.581,00	7.803.489,83
DIOXIDO CARB.(Kgs.)	28.843,00	14.400,00	752.272,00	329.260,00	685.109,00	589.024,00	592.064,00	358.923,44	225.030,00	182.905,00	126.434,00	512.070,30	4.367.491,74
BARITINA (ton.)	1.476,24			2.139,00	3.694,89								5.833,89
ZEOLITA (ton.)	1.291,05	1.800,85	1.883,25	1.679,00	3.300,00	2.400,00		1.729,75	1.867,89	97,00	119,90		14.877,64
COBRE (lb.)					533.400,00								533.400,00
TRAVERTINO (ton.)						7.249,17							7.249,17
ARENAS													
FERRUGINOSAS(ton.)					11.324,89	9.252,16			32.026,65	6.189,87	5.567,51	27.060,11	91.421,19
CONCENTRADO COBRE(ton.)												953,54	953,54

Fuente: Sistema de Administración de Derechos Mineros (SADMIN)

* Datos provisionales

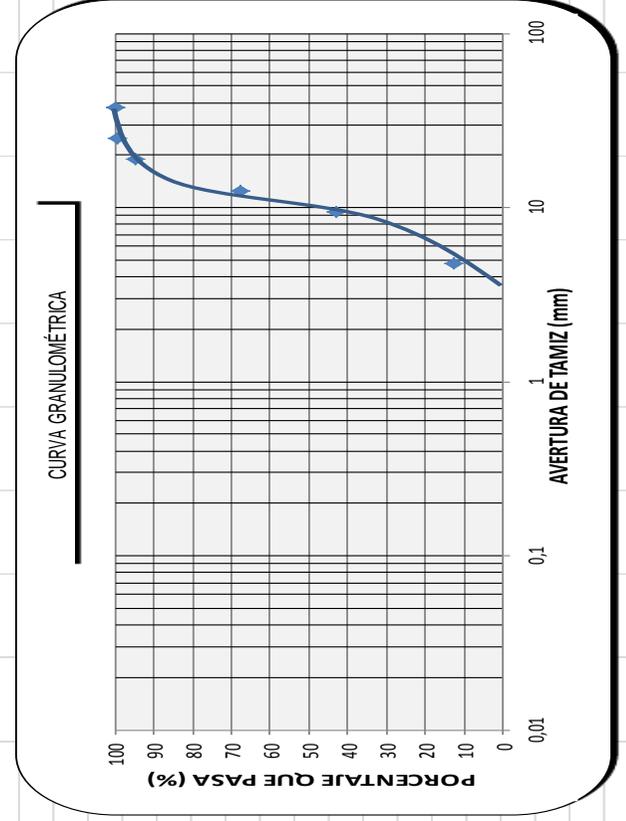
ANEXO 2: GRANULOMETRÍA MATERIAL TRITURADO

PROYECTO:		Tesis de Maestría			
UBICACIÓN:					
SOLICITADO POR:		Ing. Mora			
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:		desecho cerámico			
PROCEDENCIA DEL MAT:		Ceramica Andina			
FECHA:		30/10/2013			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
TAMIZ #.	ABERTURA	PESO RETEN.	P. RET. ACUM.	%	%
	mm.	g	g	RETENIDO	PASA
2"	50,8				
1½"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	27,10	27,10	0,46	99,54
¾"	19,00	293,50	320,60	5,48	94,52
½"	12,50	1565,40	1886,00	32,24	67,76
3/8"	9,50	1460,50	3346,50	57,20	42,80
N.4	4,75	1761,40	5107,90	87,31	12,69
N.8	2,38				
N.16	1,19				
N.30	0,59				
N.50	0,30				
N.100	0,15				
N.200	0,07				
PASA #		742,60	5850,50	100,00	0,00
TOTAL		5850,50			

PASA TAMIZ N.4 = g

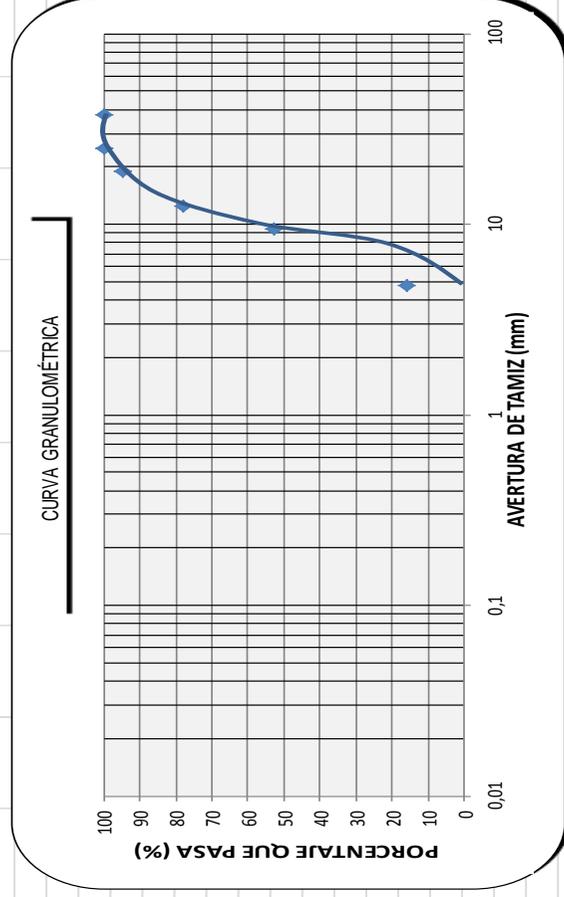
PESO ANTES ENSAYO = 5851,00 g PESO ANTES LAVADO (seco) = g

PESO DESPUÉS ENSAYO = 5850,50 g PESO DESPUÉS LAVADO = g



PROYECTO:		Tesis de Maestría				
UBICACIÓN:		Ing. Mara				
SOLICITADO POR:		desecho ceramico				
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:		Ceramica Andina				
PROCEDENCIA DEL MAT:		muestra 1				
FECHA:		16/06/2014				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
TAMIZ #.	ABERTURA mm.	PESO RETEN. g	P. RET. ACUM. g	% RETENIDO	% PASA	ASTM D-422-83 % ESPECIF.
2"	50,8					
1½"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00	
1"	25,00	21,20	21,20	0,32	99,68	
¾"	19,00	311,80	333,00	5,08	94,92	
½"	12,50	1111,30	1444,30	22,04	77,96	
3/8"	9,50	1662,20	3106,50	47,40	52,60	
N.4	4,75	2410,50	5517,00	84,18	15,82	
N.8	2,38					
N.16	1,19					
N.30	0,59					
N.50	0,30					
N.100	0,15					
N.200	0,07					
PASA #4		1037,20	6554,20	100,00	0,00	
TOTAL						

PASA TAMIZ N.4 = g
 PESO ANTES ENSAYO = 6554,22 g PESO ANTES LAVADO (seco)= g
 PESO DESPUÉS ENSAYO = 6554,20 g PESO DESPUÉS LAVADO = g



NOTA: Material calculado sin el pasante del tamiz numero 4

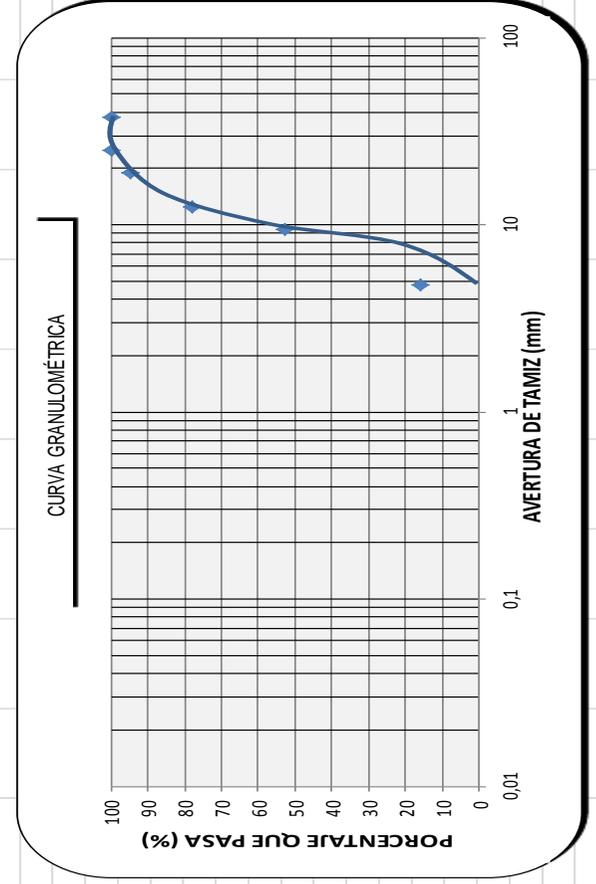
ANEXO 3: GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO CERÁMICO LABORATORIO DE SUELOS FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE CUENCA.

PROYECTO:		Tesis de Maestría				
UBICACIÓN:		Ing. Mora				
SOLICITADO POR:		desecho ceramico				
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:		Ceramica Andina				
PROCEDENCIA DEL MAT:		muestra 1				
FECHA:		24/02/2014				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
TAMIZ #.	ABERTURA mm.	PESO RETEN. g	P. RET. ACUM. g	RETENIDO %	PASA %	ASTM D-422-63 % ESPECIF.
2"	50,8					
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00	
1"	25,00	21,20	21,20	0,32	99,68	
3/4"	19,00	311,80	333,00	5,08	94,92	
1/2"	12,50	1111,30	1444,30	22,04	77,96	
3/8"	9,50	1662,20	3106,50	47,40	52,60	
N.4	4,75	2410,50	5517,00	84,18	15,82	
N.8	2,38					
N.16	1,19					
N.30	0,59					
N.50	0,30					
N.100	0,15					
N.200	0,07					
PASA #4		1037,20	6554,20	100,00	0,00	
TOTAL		6554,20				

PASA TAMIZ N.4 = g

PESO ANTES ENSAYO = 6554,22 g PESO ANTES LAVADO (seco) = g

PESO DESPUÉS ENSAYO = 6554,20 g PESO DESPUÉS LAVADO = g

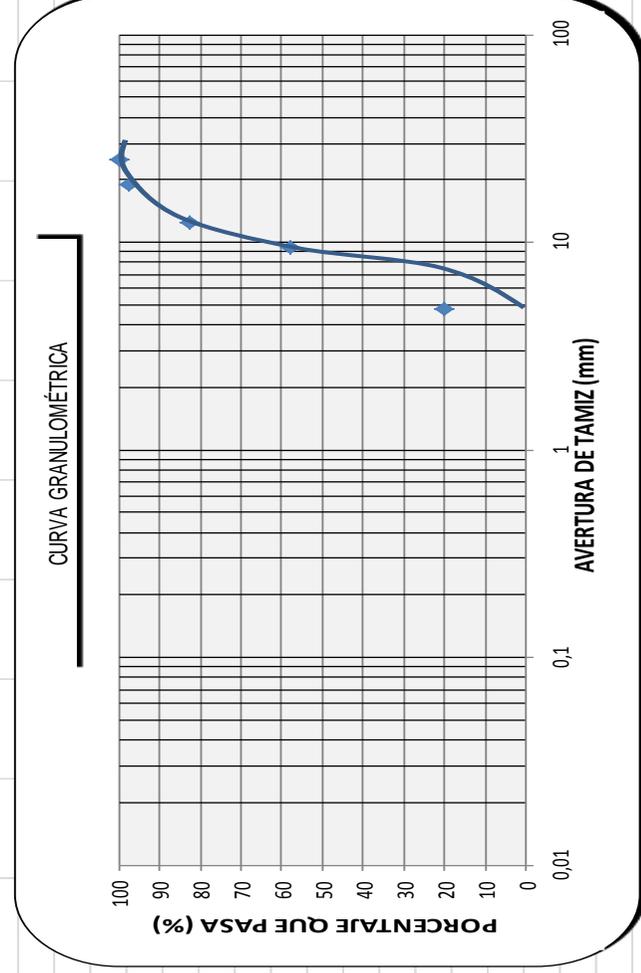


PROYECTO:		Tesis de Maestría			
UBICACIÓN:					
SOLICITADO POR:		Ing. Mora			
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:		desecho ceramico			
PROCEDENCIA DEL MAT:		Ceramica Andina			
FECHA:		24/02/2014		muestra 2	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
TAMIZ #.	ABERTURA mm.	PESORETEN. g	P. RET. ACUM.		ASTM D-422-63 % ESPECIF.
			g	%	
2"	50,8				
1½"	37,50				
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
¾"	19,00	158,40	158,40	2,45	97,55
½"	12,50	964,40	1122,80	17,35	82,65
3/8"	9,50	1600,60	2723,40	42,08	57,92
N.4	4,75	2435,80	5159,20	79,72	20,28
N.8	2,38				
N.16	1,19				
N.30	0,59				
N.50	0,30				
N.100	0,15				
N.200	0,07				
PASA #4		1312,30	6471,50	100,00	0,00
TOTAL		6471,50			

PASA TAMIZ N.4 = g

PESO ANTES ENSAYO = 6554,22 g PESO ANTES LAVADO (seco) = g

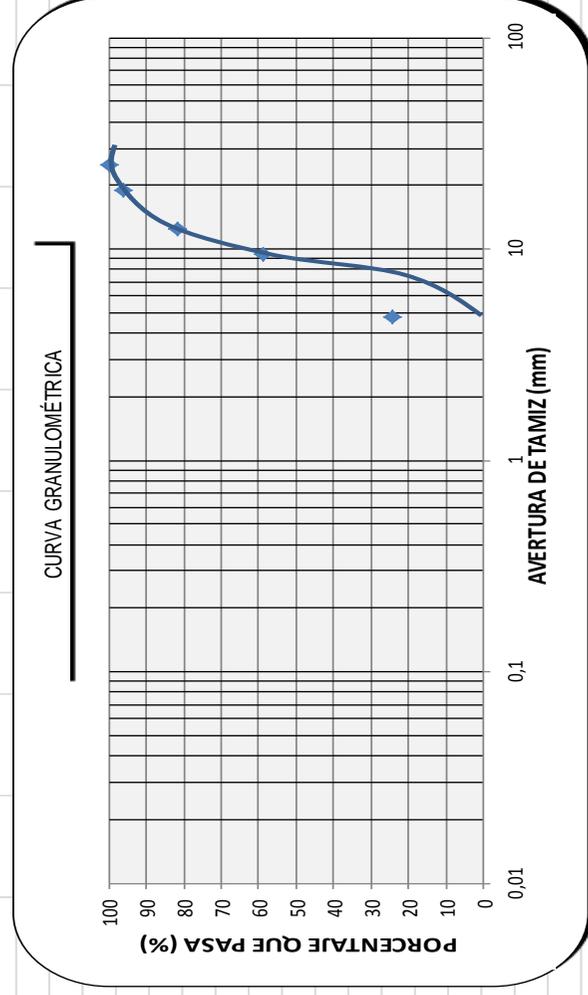
PESO DESPUÉS ENSAYO = 6471,50 g PESO DESPUÉS LAVADO = g



PROYECTO:	Tesis de Maestría		
UBICACIÓN:			
SOLICITADO POR:	Ing. Mora		
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	desecho ceramico		
PROCEDENCIA DEL MAT:	Ceramica Andina		
FECHA:	24/02/2014	muestra 3	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					ASTM D-422-63	
TAMÍZ #.	ABERTURA mm.	PESO RETEN. g	P. RET. ACUM. g	% RETENIDO	% PASA	% ESPECIF.
2"	50,8					
1½"	37,50					
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00	
¾"	19,00	278,30	278,30	3,90	96,10	
1/2"	12,50	1032,80	1311,10	18,38	81,62	
3/8"	9,50	1639,90	2951,00	41,37	58,63	
N.4	4,75	2437,80	5388,80	75,54	24,46	
N.8	2,38					
N.16	1,19					
N.30	0,59					
N.50	0,30					
N.100	0,15					
N.200	0,07					
PASA #4		1744,80				
TOTAL		7133,60				

PASA TAMÍZ N.4 =	g	
PESO ANTES ENSAYO =	6554,22	g
PESO DESPUÉS ENSAYO =	7133,60	g
PESO ANTES LAVADO (seco) =		g
PESO DESPUÉS LAVADO =		g

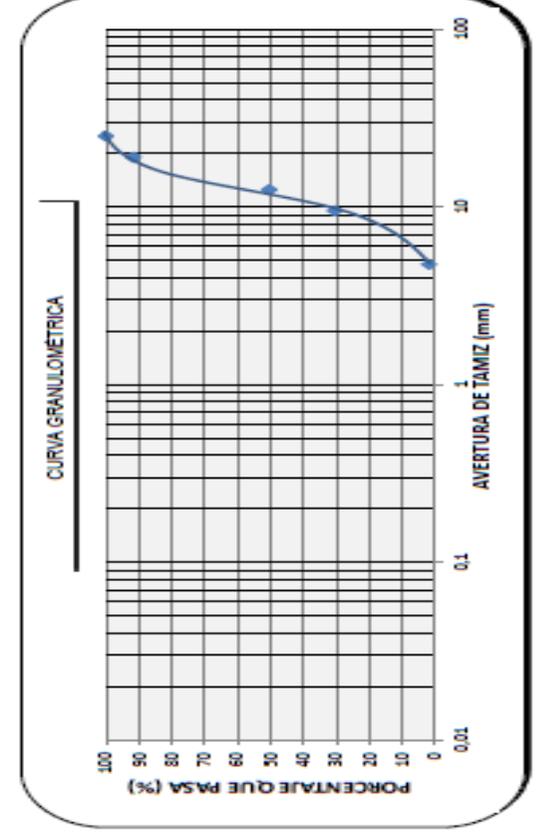


ANEXO 4: GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO NATURAL


UNIVERSIDAD DE CUENCA
 Fundada en 1867
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES FACULTAD DE INGENIERÍA
 laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec
 Teléfono: 405-1000 Ext:2354

PROYECTO:		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				ASIM E-401-13
UBICACIÓN:		PESO RETEN.		RETENIDO		%
TAMIZ #.	ABERTURA mm.	g	P. RET. ACUM. g	%	PASA	% ESPECIF.
2"	50,8					
1 1/2"	37,50					
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,00	717,00	717,00	8,37	91,63	
1/2"	12,50	3548,00	4263,00	49,77	50,23	
3/8"	9,50	1701,00	5964,00	69,63	30,37	
N.4	4,75	2462,00	8416,00	98,26	1,74	
N.8	2,38					
N.16	1,19					
N.30	0,59					
N.50	0,30					
N.100	0,15					
N.200	0,07					
PASA #4		149,00	8665,00	100,00	0,00	
TOTAL		8665,00				

PASA TAMIZ N.4 = 9 g
 PESO ANTES ENSAYO = 8666,00 g PESO ANTES LAVADO (seco) = 9 g
 PESO DESPUES ENSAYO = 8665,00 g PESO DESPUES LAVADO = 9 g





Fundada en 1867

UNIVERSIDAD DE CUENCA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES FACULTAD DE INGENIERÍA

laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec

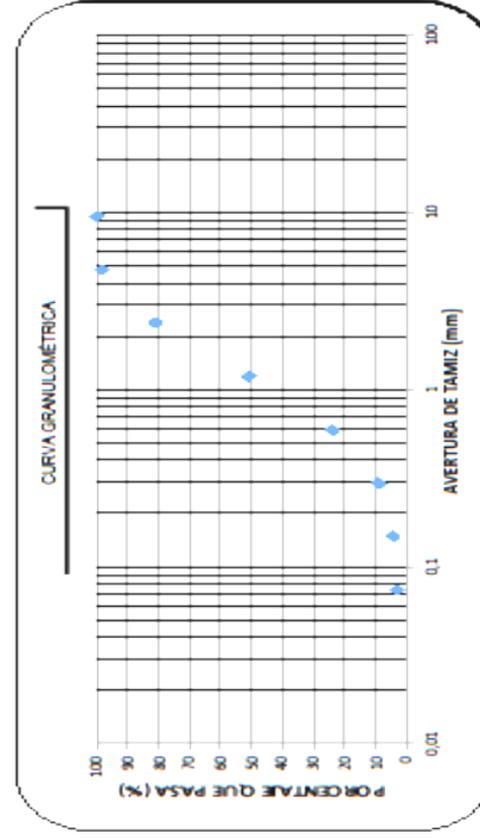
Teléfono: 405-1000 Ext.2354



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
TAMIZ #	ABERTURA mm.	PESO RETEN. g	P. RET. ACUM. g	% RETENIDO	% PASA	% ESPECIF.
2"	50,8					
1 1/2"	37,50					
1"	25,00					
3/4"	19,00					
1/2"	12,50					
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00	
N.4	4,75	18,00	18,00	1,80	98,20	
N.8	2,38	174,00	192,00	19,20	80,80	
N.16	1,19	301,00	493,00	49,30	50,70	
N.30	0,59	268,00	761,00	76,10	23,90	
N.50	0,30	151,00	912,00	91,20	8,80	
N.100	0,15	45,00	957,00	95,70	4,30	
N.200	0,07	13,00	970,00	97,00	3,00	
PASA #4						
TOTAL		970,00				

PASA TAMIZ N.4 = 1000,00 g PESO ANTES LAVADO (6800) = g
 PESO DESPUES ENSAYO = 970,00 g PESO DESPUES LAVADO = g



MODULO DE FINURA: 3,333 ...

ANEXOS

ANEXO 5: GRANULOMETRÍA ARENA (AGREGADO FINO NATURAL) Y GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO CERÁMICO



Fundada en 1867

UNIVERSIDAD DE CUENCA

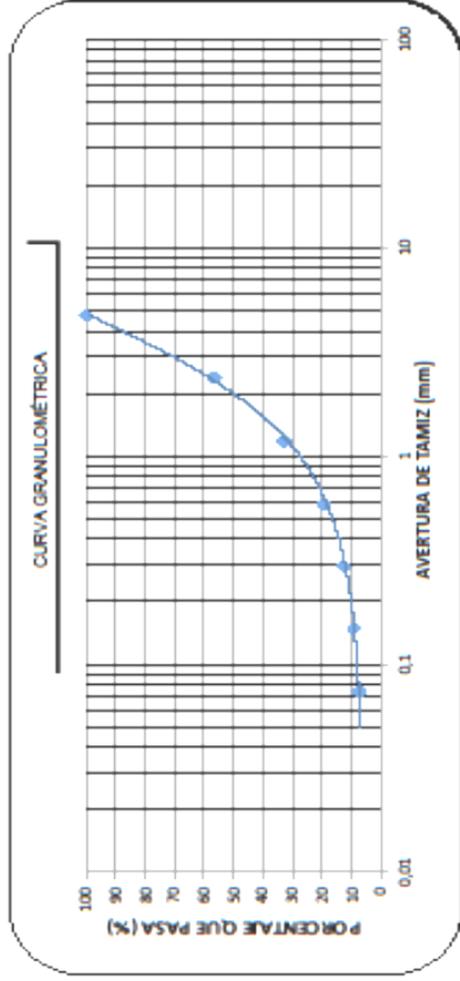
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES FACULTAD DE INGENIERÍA

laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec

Teléfono: 405-1000 Ext.2354

PROYECTO:		UBICACIÓN:		SOLICITADO POR:		DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:		PROCEDENCIA DEL MAT.:		FECHA:	
		Ing. Mora				Cerámica					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO											
TAMIZ #	ABERTURA (mm)	PESO RETEN. (g)	P. RET. ACUM. (g)	% RETENIDO	% PASA	ACTA D-423-03					
2"	50.8										
1 1/2"	37.50										
1"	25.00										
3/4"	19.00										
1/2"	12.50										
3/8"	9.50										
N.4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00						
N.8	2.38	282.78	282.78	43.50	56.50						
N.16	1.19	153.96	436.74	67.19	32.81						
N.30	0.59	87.80	524.54	80.70	19.30						
N.50	0.30	43.95	568.49	87.46	12.54						
N.100	0.15	22.16	590.65	90.87	9.13						
N.200	0.07	10.95	601.60	92.55	7.45						
PASA #4											
TOTAL		601.60									

PASA TAMIZ N.4 = 9 g PESO ANTES LAVADO (seco) = 650.00 g
 PESO ANTES ENSAYO = 9 g PESO DESPUÉS LAVADO = 601.60 g



MODULO DE FINURA: 3.70 ***



Fundada en 1867

UNIVERSIDAD DE CUENCA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES FACULTAD DE INGENIERÍA
laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec
Teléfono: 405-1000 Ext:2354



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

PROYECTO:			
UBICACIÓN:			
SOLICITADO POR:		Ing. Diana Mora	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:		grava 2	
PROCEDENCIA DEL MAT.:			
FECHA:			
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN			ASTM C137 C138

EJECUCIÓN DEL ENSAYO			
Nomenclatura	Unidades	#	Valores
Matriz		1	2
Peso del Material Superficie Saturada Secca	g	1201	
Peso del Matraz + Agua + Material a T°C	g	4921	
Temperatura a Grados Centígrados	°C	20	
Peso del Matraz + Agua a T°C (curva de calibración)	g	3256	
Peso del Material Secco	g	1156	
Peso Especifico del agua	T°C	20	1.00E+00
Peso Especifico del agua	T°C		

Datos del Ensayo

CALCULOS DE LAS MUESTRAS #. 11 Y 12

$$\text{Peso Especifico Secco} = \frac{W_s * \gamma_w}{W_{ss} + W_{fw} - W_{fsw}} = \frac{1156 * 9.81}{1201 + 4921 - 3256} = \frac{11360.36}{2666} = 2.65 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Peso Especifico Superficie Saturada Secca} = \frac{W_{ss} * \gamma_w}{W_{ss} + W_{fw} - W_{fsw}} = \frac{1201 * 9.81}{1201 + 4921 - 3256} = \frac{11781.81}{2666} = 2.75 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Peso Especifico Aparente} = \frac{W_s * \gamma_w}{W_s + W_{fw} - W_{fsw}} = \frac{1156 * 9.81}{1156 + 4921 - 3256} = \frac{11360.36}{2821} = 2.96 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Porcentaje de Absorción de Agua} = \frac{W_{ss} - W_s}{W_s} * 100 = \frac{1201 - 1156}{1156} * 100 = 3.89 \%$$

RESULTADOS	
Promedio Peso Especifico Superficie Saturada Secca	
Ss=Gs=	2.75 g/cm³

Peso Unitario Vanillado	1.4 g/cm³
Peso Unitario Suelto	1.3 g/cm³

ANEXO 6: PESOS ESPECÍFICOS AGREGADO GRUESO NATURAL



Fundada en 1867

UNIVERSIDAD DE CUENCA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES FACULTAD DE INGENIERÍA
laboratorio_suelos@ucuenca.edu.ec
Teléfono: 405-1000 Ext.2354



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

PROYECTO: _____

UBICACIÓN: Ing. Diana Mora

SOLICITADO POR: arena

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: _____

PROCEDENCIA DEL MAT: _____

FECHA: _____

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN ASTM C137 C138

EJECUCIÓN DEL ENSAYO			
	Nomenclatura	Unidades	Valores
f=	Molinos	#	2
Ms=	Peso del Material Superficie Saturada Seca	g	600
Msw=	Peso del Molino + Agua + Material a 1°C	g	3808
T°C=	Temperatura a Grados Centígrados	°C	20
Mw=	Peso del Molino + Agua a 1°C (curva de calibración)	g	3448
Me=	Peso del Material Seco	g	572
Tw1=	Peso Específico del agua	1°C	20
Tw2=	Peso Específico del agua	1°C	1,00E+00

Datos del Ensayo

CALCULOS DE LAS MUESTRAS #1 Y 2

Peso Específico Seco:
$$= \frac{W_s + \gamma W}{W_{ss} + W_{fw} - W_{fsw}} = \frac{2,36}{2,36} \text{ g/cm}^3$$

Peso Específico Superficie Saturada Seca:
$$= \frac{W_{ss} + \gamma W}{W_{ss} + W_{fw} - W_{fsw}} = \frac{2,48}{2,48} \text{ g/cm}^3$$

Peso Específico Aparente:
$$= \frac{W_s + \gamma W}{W_s + W_{fw} - W_{fsw}} = \frac{2,67}{2,67} \text{ g/cm}^3$$

Porcentaje de Absorción de Agua:
$$= \frac{W_{ss} - W_s}{W_s} * 100 = \frac{4,90}{4,90} \%$$

RESULTADOS	
Promedio Peso Específico Superficie Saturada Seca	g/cm³
Ss=Gs=	2,48

AGREGADO FINO NATURAL



Fundada en 1867

UNIVERSIDAD DE CUENCA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES FACULTAD DE INGENIERIA
 laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec
 Teléfono: 405-1000 Ext:2354



UNIVERSIDAD DE CUENCA
 desde 1867

PROYECTO: UBICACIÓN: SOLICITADO POR: Ing. Diana Mora DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: PROCEDENCIA DEL MAT.: FECHA:	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN <small>ASTM C137 C138</small>
--	---

EJECUCIÓN DEL ENSAYO			Valores
Nomenclatura	Unidades	#	2
Matraz		g	689
Peso del Material Superficie Saturada Secca		g	3612
Peso del Matraz + Agua + Material a 1°C		°C	20
Temperatura a Grados Centígrados		g	3274
Peso del Matraz + Agua a 1°C (curva de calibración)		g	556
Peso del Material Secca		g/cm³	1.00E+00
Peso Especifico del agua		g/cm³	
Peso Especifico del agua		g/cm³	

CALCULOS DE LAS MUESTRAS #1 Y 2

Peso Especifico Secca: $= \frac{W_s \times 3W}{W_{ss} + W_{fw} - W_{fsw}} =$	$\frac{1.85}{1.85} = 1.85 \text{ g/cm}^3$
Peso Especifico Superficie Saturada Secca: $= \frac{W_{ss} + 3W}{W_{ss} + W_{fw} - W_{fsw}} =$	$\frac{2.12}{2.12} = 2.12 \text{ g/cm}^3$
Peso Especifico Aparente: $= \frac{W_s \times 3W}{W_s + W_{fw} - W_{fsw}} =$	$\frac{2.55}{2.55} = 2.55 \text{ g/cm}^3$
Porcentaje de Absorción de Agua: $= \frac{W_{ss} - W_s}{W_s} \times 100 =$	$\frac{14.93}{14.93} = 14.93 \%$

RESULTADOS	
Promedio Peso Especifico Superficie Saturada Secca	g/cm³
S _s =G _s =	2.12

ANEXOS
 AGREGADO GRUESO CERÁMICO, ,



PROYECTO: _____
UBICACIÓN: Ing. Diana Mora
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: Cerámica (Material fino)
PROCEDENCIA DEL MAT: _____
FECHA: _____

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

ASIM.C137 C.138

EJECUCIÓN DEL ENSAYO		
Homocladatura	Unidades	Valores
f= Maltroz	g	2
M _{ss} = Peso del Material Superficie Saturada Seca	g	400
M _{fsW} = Peso del Maltroz + Agua + Material a 1°C	g	3681
T ₁ C= Temperatura a Grados Centígrados	°C	20
M _{fw} = Peso del Maltroz + Agua a T ₁ C (curva de calibración)	g	3452
M= Peso del Material Seco	g	349,67
T ₁ W1= Peso Específico del agua	T ₁ C	20
T ₁ W2= Peso Específico del agua	T ₁ C	1,002+00

Datos del Ensayo

CALCULOS DE LAS MUESTRAS #. 11 Y 12

Peso Específico Seco:
$$= \frac{W_s * \gamma_w}{W_{ss} + W_{fw} - W_{fsw}} =$$

$$\frac{f1 \quad 1,83 \quad \text{g/cm}^3}{f2 \quad \quad \quad \text{g/cm}^3} = 1,83 \quad \text{g/cm}^3$$

Peso Específico Superficie Saturada Seca:
$$= \frac{W_{ss} * \gamma_w}{W_{ss} + W_{fw} - W_{fsw}} =$$

$$\frac{f1 \quad 2,09 \quad \text{g/cm}^3}{f2 \quad \quad \quad \text{g/cm}^3} = 2,09 \quad \text{g/cm}^3$$

Peso Específico Aparente:
$$= \frac{W_s * \gamma_w}{W_s + W_{fw} - W_{fsw}} =$$

$$\frac{f1 \quad 2,49 \quad \text{g/cm}^3}{f2 \quad \quad \quad \text{g/cm}^3} = 2,49 \quad \text{g/cm}^3$$

Porcentaje de Absorción de Agua:
$$= \frac{W_{ss} - W_s}{W_s} * 100 =$$

$$\frac{f1 \quad 14,39 \quad \text{g/cm}^3}{f2 \quad \quad \quad \text{g/cm}^3} = 14,39 \quad \%$$

RESULTADOS	
Promedio Peso Especifico Superficie Saturada Seca	g/cm³
S _s =G _s =	2,09

AGREGADO FINO CERÁMICO.

ANEXO 7: COMPARACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

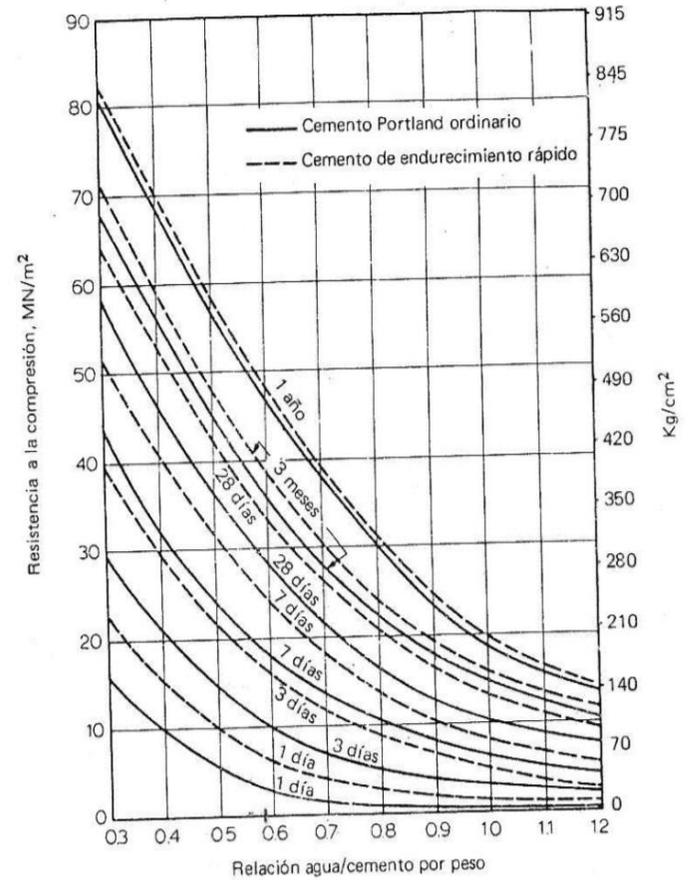


Fig. 10.2. Comparación entre la resistencia a la compresión y la relación agua/cemento para cubos de 100 mm de concreto bien compactado para mezclas de distintas proporciones.^{10.3} Los cementos modernos tienden a producir más altas resistencias.

ANEXO 8: RELACIÓN AGREGADO/CEMENTO (EN PESO) REQUERIDA PARA DAR 4 GRADOS DE TRABAJABILIDAD CON DIFERENTES GRANULOMETRÍAS Y FORMAS DE AGREGADO DE 19 MM (3/4")

Tabla 10.9 (cont.)
(b) Agregado irregular

Grado de trabajabilidad de la curva No. de la Fig. 3.14*	Muy bajo				Bajo				Medio				Alto			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
0.35	3.7	3.7	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.7	2.6	2.6	2.7	2.4	2.4	2.5	2.5	2.2
0.40	4.8	4.7	4.7	4.0	3.9	3.8	3.8	3.5	3.3	3.3	3.4	3.5	3.2	3.1	3.2	2.9
0.45	6.0	5.8	5.7	5.0	4.8	4.6	4.3	4.0	4.1	4.2	3.9	4.2	3.9	3.9	3.9	3.5
0.50	7.2	6.8	6.5	5.9	5.5	5.4	5.0	4.6	4.8	4.8	4.8	4.5	4.5	4.4	4.4	4.1
0.55	8.3	7.8	7.3	6.7	6.2	6.0	5.7	5.7	5.4	5.4	5.4	5.1	5.1	4.8	4.9	4.7
0.60	9.4	8.6	8.0	7.4	6.8	6.9	6.7	6.2	6.2	6.0	6.0	5.6	5.6	5.4	5.4	5.2
0.65	—	—	—	8.0	7.4	7.5	7.3	6.8	6.8	6.4	6.4	6.1	6.1	5.8	5.8	5.6
0.70	—	—	—	—	8.0	8.0	7.7	7.4	7.4	7.4	7.4	7.2	7.0	6.6	6.6	6.1
0.75	—	—	—	—	—	—	—	7.9	7.9	7.9	7.9	7.5	7.4	7.0	6.6	6.5
0.80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.8	7.8	7.4	7.0	7.0
0.85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

— Indica que la mezcla estuvo fuera del rango de las pruebas
X Indica que la mezcla tendría segregación

Estas proporciones se basan en densidades de aproximadamente 2.5 para el agregado grueso y de 2.6 para el agregado fino.
* véase tomo 1 cap/fuilo 3.

ANEXO 9: INFORMES DE ENSAYOS DE CONCRETOS. ROTURA A LOS 7 Y 28 DÍAS.

Ensayo de compresión directa											
Proyecto		Tesis de Maestría									
fecha de confección	fecha de rotura	cilindro	edad de ensayo (días)	peso (gr)	altura (cm)	diámetro (cm)	área (cm ²)	peso volumétrico (kg/cm ³)	C de rotura (kg)	F. de rotura (kg/cm ²)	f'c promedio
06/01/2014	03/02/2014	MP4	7	3794,00	20,00	9,85	76,20	2489,45	9700,0	127,3	134
06/01/2014	03/02/2014	MP5	7	3757,00	20,20	9,90	76,98	2416,18	10262,0	133,3	
06/01/2014	03/02/2014	MP6	7	3820,00	19,90	9,90	76,98	2493,73	10799,0	140,3	
08/01/2014	05/02/2014	MC1	7	3289,00	20,45	10,15	80,91	1987,69	2886,0	35,7	39
08/01/2014	05/02/2014	MC2	7	3276,00	20,30	10,10	80,12	2014,25	3433,0	42,8	
08/01/2014	05/02/2014	MC3	7	3254,00	20,20	10,10	80,12	2010,63	2967,0	37,0	
09/01/2014	06/02/2014	MCSF0*	7	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	49
09/01/2014	06/02/2014	MCSF1	7	3254,00	20,20	10,20	81,71	1971,40	3949,0	48,3	
09/01/2014	06/02/2014	MCSF2	7	3312,00	20,31	10,30	83,32	1957,11	4152,0	49,8	
03/06/2014	10/06/2014	HC5	7	3270,00	20,08	10,12	80,44	2024,23	4037,0	50,2	47
03/06/2014	10/06/2014	HC7	7	3236,00	19,92	10,11	80,22	2025,28	3634,0	45,3	
03/06/2014	10/06/2014	HC9	7	3234,00	20,00	10,10	80,07	2019,59	3857,0	48,2	

* la probeta MCSF0 se rompió el momento de desmoldar
SD sin dato

Ensayo de compresión directa											
Proyecto		Tesis de Maestría									
fecha de confección	fecha de rotura	cilindro	edad de ensayo (días)	peso (gr)	altura (cm)	diámetro (cm)	área (cm ²)	peso volumétrico (kg/cm ³)	C de rotura (kg)	F. de rotura (kg/cm ²)	f'c promedio
06/01/2014	13/0/2014	MP1	28	3802,00	20,00	10,23	82	2312,81	17100,0	208,0	211
06/01/2014	13/0/2014	MP2	28	3799,00	20,20	10,23	82	2288,10	17600,0	214,1	
06/01/2014	13/0/2014	MP3	28	3796,00	20,00	10,15	81	2345,70	17100,0	211,3	
08/01/2014	15/01/2014	MC1	28	3347,00	20,10	10,22	82	2029,86	5270,0	64,2	63
08/01/2014	15/01/2014	MC2	28	3350,00	20,00	10,13	81	2078,28	4740,0	58,8	
08/01/2014	15/01/2014	MC3	28	3318,00	20,00	10,20	82	2030,28	5470,0	66,9	
09/01/2014	16/01/2014	MCSF3	28	3381,00	20,10	10,17	81	2070,70	7160,0	88,1	88
09/01/2014	16/01/2014	MCSF4	28	3418,00	20,20	10,22	82	2062,66	7250,0	88,4	
09/01/2014	16/01/2014	MCSF5	28	3312,00	20,20	10,15	81	2026,36	7150,0	88,4	
03/06/2014	01/07/2014	HC1	28	3198,00	20,00	10,20	82	1956,85	6605,0	80,8	80
03/06/2014	01/07/2014	HC2	28	3212,00	19,97	10,27	83	1943,21	6700,0	80,9	
03/06/2014	01/07/2014	HC3	28	3259,00	19,95	10,27	83	1973,29	6598,0	79,7	

La resistencia de la probeta HC1 se elimina del promedio

Bibliografía

- CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. DURAR (Durabilidad de la Armadura. (2006). Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado / CYTED, DURAR. Madrid, España: CYTED.
- NTE INEN, 1576 . (2011). Hormigón de cemento hidráulico: elaboración y curado de especímenes para ensayo. Ecuador.
- ACI, C. E.-7. (agosto de 2007). ACI Education Bulletin E1-07. *Aggregates for Concrete*. Estados Unidos: ACI.
- Arenas Cabello, F. (2007). *EL IMPACTO AMBIENTAL EN LA EDIFICACIÓN. CRITERIOS PARA UNA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE*. Madrid-España: Edisofer.
- C. Medina a, M. (17 de abril de 2013). *Properties of recycled ceramic aggregate concretes: Water resistance*. Obtenido de Cement & Concrete Composites: journal homepage: www.elsevier.com/locate/cemconcomp
- Caram, J. (2012). EL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION PARTEII. *REDAC*(11).
- Chacon, E., & Lema, G. (2012). *Estudio comparativo de elementos fabricados de hormigones con material residual PET (poliestileno tereftalato) y de hormigones convencionales*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Comité ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construcción. (enero de 2013). NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN. *NEC capitulo 1 Cargas y Materiales*, 17. Quito, Ecuador.
- Gastaldini, A. (11 de junio de 2007). *Chloride penetration and carbonation in concrete with rice husk ash and chemical*

activators. (ELSEVIER, Ed.) Recuperado el 2013, de Cement and Concrete Composites: www.journals.elsevier.com

<http://www.arcom.gob.ec/index.php>. (s.f.).

<http://www.arcom.gob.ec/index.php>. Recuperado el 10 de enero de 2012, de <http://www.arcom.gob.ec/index.php>

INEN 872. (12 de 1982). Aridos para hormigón requisistos. Ecuador.

INEN, INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (Enero de 2010). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 856:2010. *ÁRIDOS.DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA(GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO*, 2. Quito, Ecuador.

INEN. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION. (Noviembre de 2009). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 873:2009. *ARENA NORMALIZADA. REQUISITOS*. Quito, Ecuador.

Kosmatka S.H., P. W. (1992). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Mexico: IMC y C.

L. Evangelistaa, J. d. (5 de mayo de 2007). *Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates*. Obtenido de ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com/>

Neville, A. (1980). *Tecnología del Concreto* (primera, tercera edición ed., Vol. I y II). Mexico, Mexico: Instituto mexicano del cemento y del concreto.

NTE INEN 696. (2011). Aridos. Analisis granulométrico en los áridos fino y grueso. Ecuador.

NTE INEN 873:2009. (2009). Arena normalizada: requisitos. *Norma técnica ecuatoriana*. Ecuador.

- PAVÓN, E., ETXEBERRIA, M., & MARTÍNEZ, I. (2011). Propiedades del hormigón de árido reciclado fabricado con adiciones, activa e inerte. *10*(3).
- Polanco Rodríguez, A. (26 de enero de 2012). Manual de Prácticas de Laboratorio de Concreto. Chihuahua., Mexico. Recuperado el 05 de 2013, de http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_LAB_DE_CONCRETO.pdf
- Portugal, P. (2007). *CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO*. Recuperado el 10 de 3013, de <http://www.concrete.0catch.com/index.htm>
- Vivar, G. (s.f.). *INFORME TECNICO - yimg.com*. Recuperado el 05 de Febrero de 2014, de <http://xa.yimg.com/kq/groups/13240622/1336410955/name/1-+GVR-Part%C3%ADculas>.