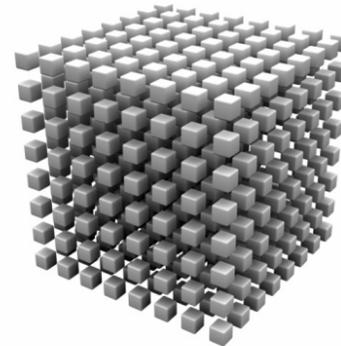




# UNIVERSIDAD DE CUENCA

## MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES PRIMERA EDICIÓN

**CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS:**  
adaptación de esta tecnología, alcanzando por lo  
menos  $210\text{kg/cm}^2$  de resistencia a la compresión.



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

**AUTOR:** ARQ. CARLOS EESTEBAN CONTRERAS LOJANO

**DIRECTOR:** PHD. ING. ANDRES SALAS MONTOYA

**CUENCA, DICIEMBRE 2012**



## **DECLARACIÓN.**

Yo, Carlos Contreras L., autor de la tesis "CONCRETO CON ARIDOS RECICLADOS: adaptación de esta tecnología, alcanzando por lo menos 210kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión", 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 Magíster en Construcciones. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Ademas certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

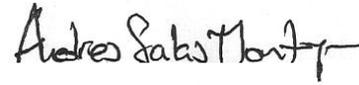


Autor: CARLOS ESTEBAN CONTRERAS LOJANO  
C.I.: 0103069852



## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por CARLOS ESTEBAN CONTRERAS LOJANO, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in black ink that reads "Andres Salas". The signature is written in a cursive style with a horizontal line at the end.

ANDRES SALAS  
DIRECTOR DEL PROYECTO



## **DEDICATORIA**

A mis padres, porque creyeron en mi y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera.

A mis hijos Juan Manuel y Martina, ya que ustedes son el significado de la superación constante.

A mi esposa Katy, gracias por el apoyo incondicional en realidad este trabajo es el fruto de un trabajo en equipo.

A mi Director Ing. Andrés Salas, por el apoyo incondicional, la constancia y dedicación en la elaboración del presente trabajo.

A todas las personas que de una y otra manera ayudaron a fomentar en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.



## **RESUMEN.**

El proyecto de investigación pretende adaptar la tecnología del concreto, elaborado con áridos provenientes de residuos de construcción, alcanzando por lo menos una resistencia de  $210\text{kg/cm}^2$ , elaborando diferentes dosificaciones según la sustitución del árido natural por el árido reciclado.

En primer lugar se realiza una investigación y análisis de los residuos provenientes de las construcciones, para lo cual nos valdremos de la elaboración de fichas y clasificación, estos procedimientos se realizaran con visitas a obras.

Se desarrolla un análisis de los materiales reciclables para la determinación de los áridos a utilizar, en este caso se obtiene información de la clasificación y selección de los residuos de la construcción y demolición, para posteriormente determinar las diferentes maneras de triturar y obtener el árido en mención.

Se realiza un análisis de diferentes procesos realizados a nivel internacional referente a la aplicación de hormigón con áridos reciclados, esto sirvió para tener diferentes criterios de la aplicabilidad de la tecnología y poderla adaptar a nuestro medio.

Se desarrolla la tecnología planteada, teniendo como referencia lo realizado en otros países, dando solución a nuestra problemática, este desarrollo tuvo la supervisión de las normas que garanticen su aplicación. La elaboración de muestras permitió corroborar mediante ensayos de laboratorio el objetivo a alcanzar.

Se elabora diferentes dosificaciones según la sustitución del árido natural por el árido reciclado, la sustitución se realizara en: 0% - 20% - 40% - 60% - 80% - 100%. Para alcanzar una resistencia de por lo menos  $210\text{kg/cm}^2$ .

## **PALABRAS CLAVE.**

Concreto, Áridos, Reciclado, Resistencia, Mezclas, Dosificaciones.

## **ABSTRACT.**

The research project aims to adapt the technology of concrete made with aggregates from construction waste, reaching at least 210kg/cm<sup>2</sup> resistance, producing different dosages according to the replacement of natural aggregate by recycled aggregate.

Firstly there is an investigation and analysis of waste from constructions, for which we will use in the production of chips and classification, these procedures will be made with visits to sites.

It develops an analysis of recyclable materials for the determination of the aggregate to be used, in this case information is obtained from the classification and selection of construction waste and demolition, later to determine the different ways to grind and get the arid mention.

An analysis of different international processes performed on the application of concrete with recycled aggregates, this served to have different criteria for the applicability of the technology and to be able to adapt to our environment.

Technology developed raised, referencing what has been done in other countries, providing solutions to our problems, this development was the monitoring of standards to ensure its implementation. The preparation of samples corroborated by laboratory tests in order to achieve.

Different dosages is made according to the replacement of natural aggregate by recycled aggregate replacement was made in: 0% - 20% - 40% - 60% - 80% - 100%. To achieve a strength of at least 210kg/cm<sup>2</sup>.

## Tabla de contenidos

	Pag.		
CAPÍTULO 1.- LINEAMIENTOS.		3.3	CLASIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN. 43
1.1	13	3.4	ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS TRITURADOS PREVIO A LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO. 52
1.2	14		
1.3	15		
1.3.1.	15		
1.3.2.	16		
1.4	16	CAPÍTULO 4.-	ANÁLISIS DE PROCESOS REALIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON ÁRIDOS RECICLADOS
1.5	16	4.1	PROCESOS PARA CARACTERIZAR EL HORMIGÓN ELABORADO CON ÁRIDOS RECICLADOS PRODUCTO DE LA DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN. 57
CAPÍTULO 2.- ETAPA PRELIMINAR.		4.2	PROCESOS PARA OBTENER PROPIEDADES DE LOS ÁRIDOS Y DE LAS MEZCLAS EN HORMIGONES CON ÁRIDOS RECICLADOS. 59
2.1	19	4.3	PROCESOS PARA LA APLICABILIDAD DEL HORMIGÓN CON ÁRIDO GRUESO RECICLADO. 63
2.2	28	4.4	PROCESOS PARA ELABORAR HORMIGÓN CON ÁRIDOS RECICLADOS. Prueba industrial. 65
2.3	34	4.5	PROPIEDADES MECÁNICAS DE BLOQUES DE HORMIGÓN COMPUESTOS CON ÁRIDOS RECICLADOS 67
CAPÍTULO 3.- ANÁLISIS DE LOS MATERIALES RECICLABLES PARA LA OBTENCIÓN DE LOS ÁRIDOS A UTILIZAR.			
3.1	41	CAPÍTULO 5.-	DESARROLLO Y ELABORACIÓN DE MUESTRAS DEL CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS UTILIZANDO DIFERENTES DOSIFICACIONES SEGÚN LA SUSTITUCIÓN DEL ÁRIDO NATURAL POR EL ÁRIDO RECICLADO.
3.2	42	5.1	SELECCIÓN DE LOS RESIDUOS TRITURADOS PARA LA ELABORACIÓN 71

	DEL CONCRETO.		6.3	CAPITULO 3.- ANÁLISIS DE LOS	129
5.2	PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO RECICLADO A UTILIZAR.	75		MATERIALES RECICLABLES PARA LA OBTENCIÓN DE LOS ÁRIDOS A UTILIZAR.	
5.3	AJUSTE DE LAS GRANULOMETRIAS DE LOS DIFERENTES AGREGADOS.	80	6.4	CAPITULO 4.- ANÁLISIS DE PROCESOS	132
5.4	ELABORACIÓN DE DIFERENTES DOSIFICACIONES SEGÚN LA SUSTITUCIÓN DEL ÁRIDO NATURAL POR EL ÁRIDO RECICLADO, LA SUSTITUCIÓN SE REALIZARA EN: 20% - 40% - 60% - 80% - 100%. PARA ALCANZAR LA RESISTENCIA DE 210Kg/cm2.	85	6.5	DESARROLLO Y ELABORACIÓN DE	133
	5.4.1 DOSIFICACIÓN 100% ÁRIDO GRUESO NATURAL.	93		MUESTRAS DEL CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS UTILIZANDO DIFERENTES DOSIFICACIONES SEGÚN LA SUSTITUCIÓN DEL ÁRIDO NATURAL POR EL ÁRIDO RECICLADO.	
	5.4.2 DOSIFICACIÓN 100% ÁRIDO GRUESO RECICLADO.	97	CAPÍTULO 7.-	ANEXOS.	137
	5.4.3 DOSIFICACIÓN 80% ÁRIDO GRUESO NATURAL CON 20% ÀRIDO RECICLADO.	101	CAPÍTULO 8.-	BIBLIOGRAFIA	154
	5.4.4 DOSIFICACIÓN 60% ÁRIDO GRUESO NATURAL CON 40% ÀRIDO RECICLADO.	104			
	5.4.5 DOSIFICACIÓN 40% ÁRIDO GRUESO NATURAL CON 60% ÀRIDO RECICLADO.	108			
	5.4.6 DOSIFICACIÓN 20% ÁRIDO GRUESO NATURAL CON 80% ÀRIDO RECICLADO.	111			
5.5	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN DE LAS DIFERENTES DOSIFICACIONES DE CONCRETO.	116			
CAPÍTULO 6.- CONCLUSIONES.					
6.1	CAPITULO 1.- LINEAMIENTO.	127			
6.2	CAPITULO 2.- ETAPA PRELIMINAR.	128			



**CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS:**  
adaptación de esta tecnología, alcanzando por lo  
menos  $210\text{kg/cm}^2$  de resistencia a la compresión.

## CAPÍTULO 1.- LINEAMIENTO

### 1.1 INTRODUCCIÓN.

El proyecto de investigación pretende adaptar la tecnología del concreto, elaborado con áridos provenientes de residuos de construcción, alcanzando por lo menos una resistencia de  $210\text{kg/cm}^2$  a la compresión, y al mismo tiempo se podrá ayudar a subsanar el manejo no controlado de los residuos de construcción, que hasta la fecha en nuestra ciudad no cuenta con planes de manejo.

Se realizó una investigación y análisis de los residuos provenientes de las construcciones, para lo cual se elaboraron fichas de clasificación de los residuos, y el sometimiento a ensayos de laboratorio.

Se desarrolló la tecnología, teniendo como referencia lo realizado en otros países, teniendo diversas soluciones para esta problemática. La elaboración de muestras permitió corroborar mediante ensayos de laboratorio el objetivo a alcanzar.

El trabajo experimental incluye dosificaciones según la sustitución del árido natural por el árido reciclado, la sustitución se realizara en: 20% - 40% - 60% - 80% - 100%. Para alcanzar una resistencia de  $210\text{kg/cm}^2$  a la compresión, ayudando a minimizar el consumo de los recursos no renovables.



## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La industria de la construcción genera una gran cantidad de desechos, ya sea por el mismo proceso de construcción o por demoliciones, estos no son aprovechados sino que van a parar a sitios de deposición clandestinos como terrenos baldíos o áreas ecológicas y en el mejor de los casos se utiliza como relleno, teniendo como resultado una mala imagen urbana y contaminación.

En la actualidad el desalojo indiscriminado de desechos de construcción en las quebradas y orillas de los ríos de nuestra ciudad ha sido concebido por la falta de lugares apropiados para depositar los escombros permanentemente, en los programas actuales de gestión de escombros patrocinado por la empresa EMAC (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca), se han detectado deficiencias en cuanto a destinar lugares apropiados debido al incremento que sufre diariamente por el crecimiento poblacional “un total de 21.800 m<sup>3</sup> al mes”<sup>1</sup> y a la poca o nula preocupación por crear planes de reciclaje que aporten con el ecosistema.

La problemática que se ha difundido por todos los medios en los últimos años, sobre las amenazas futuras que afectaría a la humanidad y que está referido a los consumos de las materias primas no renovables. Esta realidad ausente hasta hace poco en nuestra ciudad, donde la explotación de áridos presente en el sector de la Josefina, al este de la ciudad de Cuenca, presenta problemas: “La extracción indiscriminada de material pétreo en la zona uno de La Josefina, que comprende el cerro Tamuga, Misquiyacu y Shishío, fue declarada en emergencia por el Comité de Operaciones Emergentes, COE, del Azuay; debido al riesgo de un nuevo macro deslizamiento en el sector. Al igual, el Municipio suspenderá la actividad extractiva en el río Cuenca”<sup>2</sup>. En el Ecuador, el uso de áridos pétreos en el sector de la construcción ha sufrido un incremento en los últimos 12 años “es el grupo de minerales no metálicos que mayor crecimiento tiene con 315,2% al pasar de 29 toneladas en el año 1998 a 98,74 en el 2010”<sup>3</sup>.

La demanda de concreto existente en el Ecuador directamente aplicado a la vivienda, tiene cifras a considerar:

“En el Ecuador existen 3’322.769 viviendas, de esta cifra el 43.17%

1 LOGROS - EMAC EP- AGOSTO 2009 – JULIO 2010 [www.emac.gov.ec/?q=system/files/RESUMEN%20EJECUTIVO.ppt](http://www.emac.gov.ec/?q=system/files/RESUMEN%20EJECUTIVO.ppt)

2 ANDES/@relicheandres » 17:04 - 23 jun 2010

3 <http://conciencia20.pd2.iup.es/2011/05/24/18-anos-despues-del-macrodeslizamiento-de-la-josefina-el-peligro-ambiental-persiste/> Publicado por Fernando Valencia el 24 de mayo de 2011.



## CAPÍTULO 1.- LINEAMIENTO

son con estructura de concreto armado”<sup>4</sup>, existe un alto porcentaje de utilización de este material, que demanda mayor preocupación.

“En la ciudad de Cuenca se realizó un muestreo de los residuos desalojados en las construcciones”<sup>5</sup>:

- Vivienda unifamiliar 2 pisos 12m<sup>3</sup>
- Edificio multifamiliar 24 departamentos promedio 90m<sup>3</sup>
- Construcción de vías, en 100m se desalojan 8m<sup>3</sup>
- Instalación de servicios básicos, agua potable y alcantarillado, por asuntos de rotura de vías se desalojan 0.40m<sup>3</sup> por cada acometida, existiendo un promedio de 8 acometidas de demanda diaria.

De los datos anteriores el volumen que sirve para reciclar áridos está aproximadamente en un 45% a excepción de los servicios básicos que es un 100%.

Frente a esta realidad la investigación pretende adaptar la tecnología del concreto con áridos reciclados de 210kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión que se aplica en países desarrollados, en donde es importante el estudio de los áridos reciclados de escombros de construcción de viviendas y vías, para la elaboración de concreto, producto de los residuos de construcción de nuestro medio, teniendo en cuenta la procedencia de los residuos y del manejo de los mismos.

### 1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

#### 1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Adaptación de la tecnología del concreto con áridos reciclados, mediante el reciclaje de residuos de construcción, para la producción de concreto de por lo menos 210kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión, teniendo como resultado un producto alternativo que ayude a minimizar el consumo de los recursos naturales no renovables.

<sup>4</sup> <http://www.ecuadorencifras.com/cifras-inec/vivienda>

<sup>5</sup> <http://www.emac.ep.ec/Saneamiento/obras.aspx>



### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.- Estudio de residuos de la construcción que pueden ser utilizados para la fabricación de hormigones con áridos reciclados.
- 2.- Influencia que tienen los áridos reciclados en las propiedades de los concretos.
- 3.- Analizar diferentes procesos de elaboración de concretos con áridos reciclados, que conduzcan a minimizar el consumo de los recursos no renovables.
- 4.- Diseño de mezclas de concreto con áridos reciclados, sometiéndolos a ensayos de compresión y flexión en estado endurecido.

### 1.4 HIPÓTESIS.

¿La elaboración del concreto con áridos reciclados alcanzará una resistencia de al menos 210kg/cm<sup>2</sup> a la compresión, elaborando diferentes dosificaciones según la sustitución del árido natural por el árido reciclado?

### 1.5 METODOLOGÍA.

Para alcanzar los objetivos específicos será fundamental, realizar y ejecutar las siguientes etapas del proyecto de investigación:

1.- Etapa preliminar: Estudio básico sobre los antecedentes que involucran la utilización de los residuos de construcción en la fabricación de concreto con áridos reciclados.

2.- Análisis de los materiales reciclables para la determinación de los áridos a utilizar:

Estudio de los áridos reciclados y la influencia que tienen en las propiedades del concreto.

3.- Análisis de procesos realizados para la elaboración de concretos con áridos reciclados: Estudio de los diferentes informes publicados a nivel internacional en lo referente a la aplicación de los agregados reciclados.



4.- Desarrollo y elaboración de muestras del concreto con áridos reciclados utilizando diferentes dosificaciones según la sustitución del árido natural por el árido reciclado: Análisis de los residuos triturados para realizar el diseño de mezclas del concreto y propiedades en estado endurecido.





## CAPÍTULO 2.- ETAPA PRELIMINAR

### **2.1 ESTUDIO DE CAMPO DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN QUE GENERAN LAS EMPRESAS MÁS IMPORTANTES DE CONSTRUCCIÓN DE LA CIUDAD DE CUENCA.**

El problema ambiental que plantean los Residuos de Construcción y Demolición (comúnmente denominados RCD) se deriva no solo del creciente volumen de su generación, sino de su tratamiento, que todavía hoy es insatisfactorio en la mayor parte de los casos. La insuficiente prevención de la producción de residuos en origen se une al escaso reciclado de los que se generan. Entre los impactos ambientales que ello provoca, cabe destacar la contaminación de suelos y acuíferos en vertederos incontrolados, el deterioro paisajístico y la eliminación de estos residuos sin aprovechamiento de sus recursos valorizables.

De este impacto surge la necesidad en las empresas constructoras de incorporar nuevas tendencias en la gestión de residuos, con un mayor respeto al Medio Ambiente, optimización de recursos y materiales, y mejora económica del resultado de las obras, así como el requerimiento de establecer mecanismos adecuados para una adaptación rápida y sencilla al nuevo desarrollo normativo existente en esta materia.

La composición de los RCD varía según se trate de nueva construcción, reforma o demolición. También va a depender de la actividad para la que se ha diseñado el edificio, así como la zona donde se haya



realizado la obra y la edad de la misma, ya que los materiales una vez utilizados van sufriendo variaciones importantes en el tiempo.

Se tratan de residuos constituidos básicamente por tierras y áridos mezclados, piedras, restos de hormigón, ladrillos, cristales, restos de pavimentos asfálticos, materiales refractarios, plásticos, yesos y maderas.

La generación de los RCD ha aumentado como consecuencia del crecimiento urbanístico. Donde el destino de estos residuos es el vertedero, lo que provoca la saturación de los mismos con unos materiales susceptibles de ser recuperados y reciclados.

La mala gestión de estos residuos crea un grave problema a nuestro entorno, agravándose cada año. El depósito indiscriminado de éstos residuos en lugares conocidos como “escombreras”, ha creado fuertes impactos sobre el medio. Además del deterioro ambiental y paisajístico causado, también hay que tener en cuenta que se está perdiendo una suma importante de materiales que podrían ser recuperados y reutilizados, ya que muchos de estos residuos tienen un valor económico considerable.

**Escombros:** Son el conjunto de fragmentos o restos de ladrillos, hormigón, argamasa, acero, hierro, madera, etc., provenientes de los desechos de construcción, remodelación y/o demolición de estructuras, como edificios, residencias, puentes, etc.

Podemos identificar, en los escombros que se producen durante una construcción, la existencia de dos tipos de residuos:

- los residuos (fragmentos) de elementos prefabricados, como materiales de cerámica, bloques de cemento, demoliciones localizadas, etc.
- los residuos (restos) de materiales elaborados en la obra, como hormigón y argamasas, que contienen cemento, cal, arena y piedra.

Los escombros de construcción se componen de restos y fragmentos de materiales, mientras los de demolición están formados prácticamente sólo por fragmentos, teniendo por eso mayor potencial cualitativo



Imagen 1.-

Depósito indiscriminado de escombros en lugares clandestinos de la ciudad.



comparativamente con los escombros de construcción.

Bajo la denominación de residuos de construcción y demolición se incluye una variada serie de materiales. “Según un estudio realizado el 11 de octubre de 2011, por parte de la EMAC”<sup>6</sup>, Tabla 1, como parte de un análisis previo a la reubicación de las escombreras en la ciudad, los datos obtenidos son los siguientes:

### PORCENTAJE DE MATERIALES EN LOS ESCOMBROS

TABLA #1

#### ESCOMBROS:

Ladrillos, azulejos y otros cerámicos.	54%
Hormigón.	12%
Piedra.	5%
Arena, grava y otros áridos.	4%
Madera.	4%
Vidrio.	0,50%
Plástico.	1,50%
Metales.	2,50%
Asfalto.	5%
Yeso.	0,20%
Papel.	0,30%
Basura.	7%
Otros.	4%

La mayor parte de los residuos procedentes de la construcción o demolición de los edificios se pueden calificar como inertes, a excepción de una pequeña proporción de peligrosos y no inertes como, por ejemplo, fibras minerales, los disolventes y algunos aditivos del hormigón, ciertas pinturas, resinas y plásticos.

Hay un segundo grupo de residuos que no son tóxicos en sí mismos, pero que pueden sufrir reacciones en las que se produzcan sustancias tóxicas. Aquí se podrían incluir las maderas tratadas, que pueden desprender gases tóxicos al valorizarlas energéticamente, o algunos plásticos no valorizables.

<sup>6</sup> www.emac.gov.ec/?q=system/files/RESUMEN%20EJECUTIVO.ppt



## EMPRESAS CONSTRUCTORAS EN LA CIUDAD DE CUENCA

De acuerdo a la información brindada por el director de Control Municipal Arq. Gabriel Bermeo (Ver anexo #1), se pudo determinar a las empresas con mayor área de aprobación en proyectos de construcción y de esta manera se pudo realizar un análisis de cada una, en donde se pudo obtener un cuadro estadístico de los desechos de construcción, clasificando los más importantes, estos cuadros se obtuvieron de volúmenes representativos, proporcionados por las empresas y de las visitas a cada una de las obras.

Las empresas que tienen mayor campo de acción en la ciudad de Cuenca son:

- EMUVI EP (Empresa Municipal de Desarrollo Urbano y Vivienda)
- Constructora RHR
- Constructora OSH

EMUVI EP.- La Empresa de Desarrollo Urbano y Vivienda, desarrolla proyectos alternativos de vivienda, dentro de los cuales viene desarrollando proyectos de grandes magnitudes que oscilan desde los 1742m<sup>2</sup> a los 60.000m<sup>2</sup> de construcción, las construcciones que realizan van encaminadas al sector de la vivienda, teniendo para ellas 3 sistemas constructivos diferentes:

1. Estructura de acero con paredes de ladrillo visto.
2. Estructura de acero con losas prefabricadas de concreto armado y paredes mixtas prefabricadas de concreto con ladrillo de arcilla.
3. Estructura de hormigón armado con paredes de bloque de concreto.

Cada uno de los sistemas constructivos tienen valores diferentes en los porcentajes de residuos que generan, a continuación se desglosará cada uno:



Imagen 2.-  
Desalojo de escombros de construcción.



Imagen 3.-  
Escombros de construcción en donde predomina tierra.

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



Imagen 4.-  
Escombros de construcción en donde predomina el acero.



Imagen 5.-  
Escombros de construcción en donde predomina la madera.

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano

## PORCENTAJE DE MATERIALES EN LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN

TABLA #2

1.-

Area de Construcción de Viviendas Unifamiliares m <sup>2</sup>	Residuos m <sup>3</sup>
118	20

Basura (papel, plástico, tierra, etc.)	30%
Concreto	5%
Ladrillo	35%
Piedra	7%
Acero	18%
Madera	5%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

De los datos anteriores se puede notar que el porcentaje de residuos de ladrillo es el mas alto, esto es producto de los desperdicios de las piezas de arcilla al momento de levantar la paredes, medios ladrillos mal cortados, picado de paredes para realizar las diferentes instalaciones en la vivienda.

## PORCENTAJE DE MATERIALES EN LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN

TABLA #3

2.-

Area de Construcción de Viviendas Multifamiliares m <sup>2</sup>	Residuos m <sup>3</sup>
62,14	8

Basura (papel, plástico, tierra, etc.)	50%
Concreto	2%
Ladrillo	40%
Piedra	3%
Acero	3%
Madera	2%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

De los datos anteriores se puede notar que el porcentaje de residuos de basura es el mas alto, esto es producto de que los elementos mas significativos como estructura, paredes y cubierta son prefabricados,



los cuales no producen una cantidad importante de residuos y en general la obra se encuentra limpia.

En la construcción de viviendas se están utilizando de manera creciente componentes fabricados en plantas de producción, que se ensamblan sobre el terreno. “La prefabricación es una solución que acelera el proceso de construcción y reduce costos e impacto ambiental”<sup>7</sup>.

Que se produzcan menos residuos en obra no quiere decir que no se generen materiales defectuosos y embalajes de materias primas se convertirían en residuos en la planta de fabricación, aunque no se hicieran visibles sobre el terreno. Eso sí, quizá su gestión pudiera estar sometida a un mayor control o ser más racional.

**PORCENTAJE DE MATERIALES EN LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

TABLA #4

3,-

Area de Construcción de Viviendas Multifamiliares m <sup>2</sup>	Residuos m <sup>3</sup>
127	18

Basura (papel, plástico, tierra, etc.)	22%
Concreto	40%
Ladrillo	1%
Piedra	10%
Acero	5%
Madera	22%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

De los datos anteriores se puede notar que el porcentaje de residuos de concreto es el mas alto, esto es producto de que la estructura y las paredes son de concreto, los cuales producen desperdicios por picado para adecuar instalaciones, uniones, etc.

Ver anexo #2



Imagen 6.-  
Escombros de construcción en donde predomina basura



Imagen 7.-  
Escombros de construcción en donde predomina la madera.

<sup>7</sup> <http://www.terra.org>



Imagen 8.-  
Escombros de construcción en donde predomina la madera.



Imagen 9.-  
Escombros de construcción en donde predomina la madera y acero.

CONSTRUCTORA RHR- La Empresa Constructora RHR, viene desarrollando proyectos de vivienda en Cuenca y en diferentes ciudades del país de grandes magnitudes que oscilan desde los 1.235m<sup>2</sup> a los 42.745m<sup>2</sup> de construcción. Dentro de los sistemas de construcción realizados predominan la estructura y paredes de concreto. Todas las obras se han realizado con el sistema tradicional de construcción, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

**PORCENTAJE DE MATERIALES EN LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

TABLA #5

Area de Construcción de Viviendas Multifamiliares m <sup>2</sup>	Residuos m <sup>3</sup>
116	12

Basura (papel, plástico, tierra, etc.)	25%
Concreto	39%
Ladrillo	0%
Piedra	7%
Acero	5%
Madera	24%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

De los datos anteriores se puede notar que el porcentaje de residuos de concreto es el más alto, esto es producto de que la estructura y las paredes son de concreto, los cuales producen desperdicios por diversas circunstancias entre ellos tenemos: trabado de pared, conducir las diferentes instalaciones por estructura y pared, ruptura de piezas por manipuleo, etc.

Ver anexo #3

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



**CONSTRUCTORA OSH.-** La Empresa Constructora OSH, esta generando desde el 2004 un proyecto de ciudad satélite ubicado al sur-este de la ciudad de Cuenca, aquí se esta proyectando 400 viviendas donde alcanza 31245m<sup>2</sup> de construcción. Dentro del sistemas de construcción realizado se encontró que predomina la estructura y paredes de concreto. Esta obra se ha realizado con el sistema de elementos prefabricados en las losas de entrepiso y el resto de la obra con el sistema tradicional de construcción. De acuerdo a los datos recopilados por el seguimiento y control de obra realizados en el 2007 por la constructora se obtubieron los siguientes datos de residuos:

### PORCENTAJE DE MATERIALES EN LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN

TABLA #6

Area de Construcción de Viviendas Multifamiliares m <sup>2</sup>	Residuos m <sup>3</sup>
89	10

Basura (papel, plástico, tierra, etc.)	34%
Concreto	32%
Ladrillo	2%
Piedra	9%
Acero	3%
Madera	20%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

De los datos anteriores se puede notar que el porcentaje de residuos de basura es el mas alto, esto es producto según de los informes de obra en la cual se sostiene que no se tenía control en el proceso de construcción por falta de personal técnico en la obra y esto conllevó a la desorganización del proceso constructivo, obviamente al predominar el concreto como materia prima de construcción se produce un alto contenido de residuos de este material.

Ver anexo #4



Imagen 10.-  
Escombros de construcción en donde predomina tierra.



Imagen 11.-  
Escombros de construcción.

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



## ESCOMBROS PRODUCTO DE ROTURA DE VÍAS



Imagen 12.-  
Rotura de vía de hormi3n armado para realizar conexiones hidrosanitarias.



Imagen 13.-  
Rotura de v3as de hormi3n armado

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano

En la ciudad de Cuenca se realizan diariamente en un promedio de 8 conexiones a redes de alcantarillado y agua potable en v3as que est3n conformados por hormi3n armado, informaci3n obtenida mediante pronunciamiento por oficio del Ing. Oswaldo Lariiva Gerente General de ETAPA EP. (Ver anexo #5)

La red de alcantarillado se considera un servicio b3sico, sin embargo la cobertura de estas redes es mucho menor en relaci3n con la cobertura de las redes de agua potable, esta realidad genera importantes problemas sanitarios, esto ocurre debido a la preocupaci3n de las autoridades municipales en construir redes de agua potable, dejando para un futuro indefinido la construcci3n de las redes de alcantarillado en varios sectores de la ciudad.

El crecimiento que va teniendo la ciudad en lo referente a la construcci3n es un factor importante a considerar en donde seg3n lo planteado por el Arq. Jos3 Brito, presidente de la C3mara de Construcci3n de Cuenca y tambi3n subsecretario del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), en la conferencia dictada en la C3mara de la Construcci3n de Cuenca el martes 11 de septiembre de 2012, sostiene que durante el a3o 2010 se tuvo unos 745.000 metros cuadrados aprobados para construir, y en el a3o 2011 llegaron a 949.000 metros cuadrados, considerando que el 60% corresponde a edificios en altura.

Es importante considerar que la construcci3n de dichos edificios se los hace en el sector urbano de la ciudad, en donde se tiene que demostrar que existe infraestructura necesaria para las futuras viviendas a emplazarse, dentro de estas est3n: redes de alcantarillado, agua potable, tel3fono y luz el3ctrica, lo cual se convierten en requisitos indispensable para aprobar la construcci3n, y posterior uso del edificio.

La rotura de v3as se produce por estas necesidades de crecimiento de ciudad, tanto en edificaciones en altura como en condominios de casas unifamiliares, estos proyectos en su gran mayor3a al emplazarse en el sector urbano, cuentan con v3as de capas de rodadura de hormi3n armado, en donde por el aumento de densidad, las conexiones a las redes de agua potable y alcantarillado cambian, por tal raz3n se tiene que realizar una nueva conexi3n.



## 2.2 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA QUE TIENE EL ÁRIDO EN EL CAMPO DE LA CONSTRUCCIÓN Y SU INSERCIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO.

El material granular constituye el mayor volumen en la mezcla para la preparación de un hormigón. Sus propiedades físicas y mecánicas juegan un papel muy importante en las del hormigón. Puede provenir de la trituración de mantos de roca natural o de cantos rodados, de la selección de fragmentos naturales de roca, prismáticos o redondeados; o de materiales artificialmente fabricados. Debe estar constituido de partículas sanas, limpias, resistentes, libres de defectos ocultos, de adherencias como limo, arcilla, grasas, aceites y libre de materia orgánica. El material granular debe estar compuesto, como mínimo, de dos porciones de tamaños diferentes; el árido grueso, cuyas partículas son, por lo general, más grandes que 4.75 mm de diámetro nominal y el árido fino, cuyo tamaño de partículas son por lo general, más pequeñas que 4.75 mm de diámetro nominal. Estos a su vez, se pueden separar en dos o tres tamaños diferentes.

### PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS PARA LA CONSTRUCCIÓN.

Para la extracción de los áridos naturales se inicia con la selección del material extraído de la cantera, para luego ser triturado y clasificado conforme a las normas técnicas internacionales (ASTM) y nacionales (MOP), establecida para cada uno de los productos. La calidad de los agregados, conforme a las normas indicadas se logra en base a un control técnico estricto durante cada una de las etapas de trituración y clasificación, realizando ensayos continuos en el laboratorio de control de calidad

El árido reciclado es el que resulta del reciclaje de residuos de demoliciones o construcciones y de escombros, son de diferente tipo en función de la obra de la que hubieran formado parte. Esto conlleva que las características técnicas de cada uno sean muy diferentes.

### PRINCIPALES EXIGENCIAS DE LAS NORMAS ASTM PARA AGREGADOS DE CONCRETO

a.- **Buena gradación granulométrica.**- La granulometría es la



distribución de los tamaños de las partículas de áridos, tal como se determina por análisis de tamices (normas ASTM C136). El efecto de un conjunto de tamaños de áridos, distribuidos según la norma ASTM, reduce el volumen total de vacíos entre ellos; lo que disminuye la cantidad de pasta de cemento requerida en el hormigón.

**b.- Bajo contenido del material muy fino en los áridos.-** Mientras mayor sea la cantidad del material fino en los áridos, el hormigón requerirá mayor cantidad de cemento aumentando su costo”.

**c.- Rugosidad de la superficie de los áridos.-** La adherencia entre el árido y la pasta de cemento es un factor importante para la resistencia del hormigón. La adherencia de la pasta de cemento (cemento y agua) y los áridos es menor cuando más lisa es la superficie de los áridos.

### **ÁRIDO GRUESO.**

Los agregados gruesos para el hormigón de cemento Portland estarán formados por grava, roca triturada o una mezcla de éstas que cumpla con los requisitos de la norma INEN 872. Los agregados se compondrán de partículas o fragmentos resistentes y duros, libres de material vegetal, arcilla u otro material inconveniente, sin exceso de partículas alargadas o planas.

#### Substancias presentes en los áridos que son perjudiciales.-

a) Contenido de arcilla y limos.

Estos impiden la adherencia entre la pasta de cemento y el árido, absorben agua y reducen la resistencia del hormigón.

b) Materia orgánica:

Provenientes de la descomposición de hojas , tallos y raíces, se manifiestan como humus. Esto impide el fraguado del cemento y reduce la resistencia del hormigón.

Ensayos y Tolerancias.- Las exigencias de granulometría serán comprobadas por el ensayo granulométrico INEN 696 (Esta norma se basa en pasar una muestra de árido seco, de masa conocida, a



través de una serie de tamices normalizados INEN de aberturas progresivamente más pequeñas, para determinar la distribución porcentual en masa de los tamaños de las partículas que constituyen el árido) tabla #7. El peso específico de los agregados se determinará de acuerdo al método de ensayo INEN 857 (Esta norma se basa en la determinación de la masa en aire y en agua del árido en estado saturado superficialmente seco, y en la determinación de la masa en aire del árido en estado seco, a fin de establecer las relaciones dadas por las definiciones.).

Los agregados gruesos no podrán contener material o sustancias perjudiciales que excedan de los porcentajes de la tabla #8, según INEN 872.

### REQUISITOS DE GRADUACION DEL ARIDO GRUESO<sup>8</sup>

TABLA #7

TAMIZ INEN Abertura Cuadrada (mm.)	TAMIZ ASTM (plg.)	Porcentaje en masa que debe pasar por los tamices INEN indicados en la columna (1) para ser considerado como árido grueso de Grado:									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
		90 - 37,5 (mm.)	63 - 37,5 (mm.)	63 - 4,75 (mm.)	37,5 - 4,75 (mm.)	26,5 - 4,75 (mm.)	19 - 4,75 (mm.)	13,2 - 4,75 (mm.)	9,5 - 2,36 (mm.)	53 - 26,5 (mm.)	37,5 - 19 (mm.)
106		100									
90		90-100									
75	3		100								
63	.2 <sup>1/4</sup>	25-60	90-100	100						100	
53			35-70	95-100	100					90-100	100
37,5	.1 <sup>1/2</sup>	0-15	0-15		95-100	100				35-70	90-100
26,5				35-70		95-100	100			0-15	20-55
19	.3/4	0-5	0-5		35-70		95-100	100			0-15
13,2				10-30		25-60		90-100	100	0-5	
9,5	.3/8				10-30		20-55	40-70	85-100		0-5
4,75	No. 4			0-5	0-5	0-10	0-10	0-15	10-30		
2,36	No. 8					0-5	0-5	0-5	0-10		
									0-5		

<sup>8</sup> Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MTOP. (MOP-001-F-2002)  
Tabla 7



### LÍMITES PARA LAS SUSTANCIAS PERJUDICIALES EN EL ÁRIDO GRUESO PARA EL HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND<sup>9</sup>

TABLA #8

SUSTANCIA PERJUDICIAL	% MAX EN MASA	METODO DE ENSAYO INEN
<u>Terrones de arcilla y partículas desmenuzables.</u>		
a) Para hormigón sometido a abrasión.	5	698
b) Para cualquier otro hormigón.	10	
<u>Material más fino que el tamiz INEN 75 (No 200).</u>		
a) Para hormigón sometido a abrasión.	1	697
b) Para cualquier otro hormigón.	1	
<u>Partículas livianas.</u>		
a) Para hormigón sometido a abrasión.	0.5	699
b) Para cualquier otro hormigón.	1	
<u>Resistencia a la abrasión.</u>		
a) Para hormigón sometido a abrasión.	50	860
b) Para cualquier otro hormigón.	50	861
<u>Resistencia a la disgregación (pérdida de masa después de 5 ciclos de inmersión y secado).</u>		
a) Si se utiliza sulfato de magnesio	18	863
b) Si se utiliza sulfato de sodio	12	

En el caso de áridos gruesos triturados, si el material más fino que el tamiz INEN 7 es polvo resultante de trituración, libre de arcilla o esquistos, el porcentaje se puede aumentar a 1.5.

Los áridos gruesos que presenten resultados de ensayos que excedan los límites especificados en el cuadro anterior, pueden aceptarse, siempre que el hormigón de propiedades comparables, hecho de árido similar proveniente de la misma fuente, haya mostrado un servicio satisfactorio al estar expuesto a una condición similar, a la cual va a estar sometido el hormigón por elaborarse con dicho árido grueso; o, en ausencia de un registro de servicio, siempre que mezclas de

<sup>9</sup> Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MTOP. (MOP-001-F-2002) Tabla 8.



prueba preparadas con dicho árido grueso presenten características satisfactorias, al ser ensayadas en el laboratorio.

### ÁRIDO FINO.

Los agregados finos para hormigón de cemento Portland “estarán formados por arena natural, arena de trituración o una mezcla de ambas. Los agregados finos se compondrán de partículas resistentes y duras, libres de material vegetal u otro material inconveniente”<sup>10</sup>.

Los agregados finos provenientes de diferentes minas o fuentes de origen no podrán ser almacenados conjuntamente; se los colocará en depósitos separados, a distancias suficientes, para evitar posibles mezclas entre los materiales de diferentes depósitos.

Requisitos.- Los agregados finos para el hormigón de cemento Portland, deberán cumplir los requerimientos de granulometría especificados en la tabla #9, de acuerdo con la norma INEN 872.

### REQUISITOS DE GRADACIÓN DEL ÁRIDO FINO<sup>10</sup>

TABLA #9

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA
9,5mm. (3/8")	100
4,75mm (No 4)	95 - 100
2,36mm (No 8)	80 - 100
1,18mm (No 16)	50 - 85
600mm (No 30)	25 - 60
300mm (No 50)	10 - 30
150mm (No 100)	2 - 10

“Entre dos tamices cualesquiera consecutivos de aquellos que se indica en la Tabla anterior, no debe quedar retenido más del 45% del árido fino, y su módulo de finura no debe ser menor de 2,3 ni mayor de 3,1”<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MTOP. (MOP-001-F-2002) Tabla 9

<sup>11</sup> William Lambe. Robert V. Whitman. Mecánica de suelos. Editora Limusa. Mexico. 1997.



Si el módulo de finura varía en más de 0,20 del valor supuesto al seleccionar las proporciones para el hormigón, el árido fino debe ser rechazado, a menos que se hagan ajustes adecuados en las proporciones del hormigón para compensar la deficiencia de gradación.

El árido fino que no cumpla con los requisitos de gradación y módulo de finura puede ser utilizado, siempre que las mezclas de prueba preparadas con este árido fino cumplan con los requisitos de las especificaciones particulares de la obra.

La cantidad de sustancias perjudiciales en el árido fino no debe exceder los límites que se especifican en la Tabla #10, de acuerdo con lo estipulado en la norma INEN 872, para árido fino.

### LÍMITES DE LAS SUSTANCIAS PERJUDICIALES EN EL ÁRIDO FINO PARA EL HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND<sup>12</sup>

TABLA #10

SUSTANCIA PERJUDICIAL	% MAX EN MASA	METODO DE ENSAYO INEN
<u>Material más fino que el tamiz INEN 75 (No 200).</u>		
a) Para hormigón sometido a abrasión.	3	697
b) Para cualquier otro hormigón.	5	
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	3	698
<u>Partículas livianas (carbón y lignito)</u>		
a) Cuando la apariencia superficial del hormigón es de importancia	0,5	699
b) Para cualquier otro hormigón.	1	
<u>Cloruros</u>		
a) Para hormigón simple	1	
b) Para hormigón armado	0,4	865
a) Para hormigón presforzado	0,1	
Sulfatos como SO <sub>4</sub>	0,6	865
Partículas en suspensión después de 1 hora de sedimentación	3	864

<sup>12</sup> Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MTOP. (MOP-001-F-2002)  
Tabla 10



En el caso de arena de trituración, si el material más fino que el tamiz INEN 75 mm consiste en polvo resultante de trituración, libre de esquistos y arcilla, los límites pueden aumentarse a 5 y 7%, respectivamente.

### 2.3 ESTUDIO DE CAMPO DE LAS EMPRESAS QUE EXPLOTAN LAS CANTERAS PARA PROVEER DE ÁRIDOS AL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.

En el Azuay existen 28 canteras establecidas ilegalmente, donde se realizan las actividades de extracción de materiales para la construcción.

Así lo demuestra el informe de diagnóstico ambiental realizado por la Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico Minero Metalúrgica “Codigem”<sup>13</sup>, que inventarió a 247 canteras en Azuay.

El informe sostiene que 16 canteras del total causan altos impactos al medio ambiente, por lo que sus actividades deben ser suspendidas o condicionadas. Existen también 183 con un impacto mediano, 38 con bajo y 10 sin problemas.

La flora y la fauna son las más afectadas, once minas ocasionan impactos a la flora y son de categoría alta y mediana. La categoría alta se presenta cuando los efectos son deplorables para la vida silvestre. Esto se debe, básicamente, a la contaminación por el polvo producido y por la deforestación que se realiza al llevar a cabo la explotación a cielo abierto.

En cuanto a la fauna, el daño se da en las áreas semivirgenes, donde habitan algunas especies nativas y endémicas.

Además de estos problemas, el suelo también sufre los estragos de la explotación antitécnica (en un porcentaje entre el 2 y 5 por ciento con respecto a la explotación controlada). La mayor afectación es la inestabilidad de los taludes. Los impactos medianos causados se encuentran entre un 8 y 12 por ciento.

Existen informes técnicos de la Dirección de Minería del Azuay sobre la actividad antitécnica de 13 canteras: tres en el cerro Tamuga y nueve en el lecho del río Paute.



Imagen 14.-  
Extracción de material de construcción mediante la explotación minera.



Imagen 15.-  
Extracción de material de construcción.

<sup>13</sup> Informe del CODIGEM 17 de febrero de 2011

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



Imagen 16.-

Suelo explotado por la extracción de áridos para la construcción.

El tramo de la carretera La Josefina-Chicticay reviste una alta fragilidad, por la degradación mecánica y manual de la explotación inmisericorde de los materiales de construcción de la margen derecha del río Paute, depositados por el desfogue y represamiento de hace cinco años.

En el informe del Codigem, el agua de los ríos no se pudo escapar de los efectos nocivos de las canteras.

Un informe técnico emitido por el Comité de Operaciones Emergentes “COE”<sup>14</sup> con fecha 11 de abril de 2011, declara en emergencia el sector 1 de la Josefina, que comprende el cerro Tamuga, Misquiyacu y Shishío, debido al riesgo de un nuevo macrodeslizamiento en el sector en donde se reporta una falla geológica e hidrológica en los cerros Misquiyacu y Shishío. Lo cual sumado a la extracción de rocas del lecho del río y a los pies de los cerros acelera el peligro.

La preocupación también se extiende en las márgenes del río Cuenca, en donde concesiones mineras extraen rocas del lecho del río. Cuatro empresas trabajan en el río y para extraer el material cavan, con la máquina, de cuatro a cinco metros de profundidad en la mitad del río. Además, se construyeron vías de acceso sobre la vertiente.

Funcionarios de la Comisión de Gestión Ambiental “CGA”<sup>15</sup>, manifiestan que esas labores cambian la hidrología del río, lo cual puede dar paso a problemas de inundaciones en las partes bajas, por el aumento de velocidad en el cauce.

### Las tasas de extracción de minerales

La producción de minerales ha ido en aumento en el Ecuador en los últimos años. La roca y piedra que comprende materiales como caliza, mármol, yeso, piedra pómez, es el grupo de minerales no metálicos que mayor producción se realiza en el Ecuador con un crecimiento del 235,5% entre el año 1998 a 2010, pasando de 3.743 toneladas de producción a 8.813 toneladas ver Tabla #11.



Imagen 17.-

Extracción de áridos finos para la construcción

<sup>14</sup> Informe del COE, 11 de abril de 2011

<sup>15</sup> Informe de la CGA, 26 de marzo de 2011



## PRODUCCIÓN MINERALES<sup>16</sup> (TONELADAS)

TABLA #11

MINERAL/AÑOS	1998	2002	2005	2007	2010
Oro	0,0033	0,00643	0,00615	0,01194	0,01027
Plata	0,00000	0,00000	0,0001	0,00028	0,00045
<b>Roca y piedra</b>	<b>3743,09000</b>	<b>3932,52000</b>	<b>6.828,81</b>	<b>6.926,28</b>	<b>8.813,13</b>
<b>Materiales construcción</b>	<b>29,23000</b>	<b>31,46000</b>	<b>54,14</b>	<b>68,63</b>	<b>92,14</b>
Dióxido carbono	0	0,02884	0,75227	0,58902	0,35892

De la tabla #11 se puede destacar lo siguiente:

Los materiales de construcción son el grupo de minerales no metálicos que mayor crecimiento tiene un incremento de 315,2% al pasar de 29 toneladas en el año 1998 a 92,14 en el 2010, aunque su producción es muy reducida frente a la roca y piedra.

Mientras que los minerales metálicos como el oro y la plata aunque presentan crecimientos de producción del 311,2% y 450% respectivamente en el período 1998-2007, su producción es mínima al compararla con la producción de roca y piedra o materiales de construcción; su valor monetario, como es obvio, resulta mucho mayor.

Así, una tonelada de oro (a un precio de 1.156 dólares la onza) valdría 37 millones de dólares, una tonelada de plata (a 19 dólares la onza) valdría 608.000 dólares, mientras que una tonelada de material de construcción 4.950 dólares (a un precio de 60 dólares el metro cúbico), la piedra valdría entre 10 y 15 dólares el metro cúbico, la tonelada de mármol 558,25 dólares, y la piedra pómez 15 dólares el metro cúbico.

En la tabla #12 se muestra la producción de los materiales de construcción de los distintos puntos de minería en el Austro del país<sup>17</sup>, se puede notar que la provincia del Azuay es la que más aporta con un total de 393.363,55 m<sup>3</sup>, esto representa un 89% de producción.

<sup>16</sup> Tabla #11, Dirección Nacional de Minería, gestión de seguimiento y control minero.

<sup>17</sup> Tabla #12, Ministerio de Recursos no Renovables.





## EMPRESA DE ÁRIDOS “CANTERA TOMBAMBA”

La empresa de áridos “Cantera Tomebamba”, fue constituida legalmente por su propietario Naum Trelles, en julio del 2004. Sus instalaciones se encuentran ubicadas en el sector de la Josefina, provincia del Azuay en el sector de Cerro Shishío (a una distancia de 15,5Km).

El proceso industrial establecido en las operaciones se fundamenta en un trabajo cuidadosamente planificado, que se inicia en la selección del material extraído de la cantera, para luego ser triturado y clasificado conforme a las normas técnicas internacionales (ASTM) y nacionales (INEN), establecida para cada uno de los productos, ver tabla #13 y tabla #14. La calidad de los productos, conforme a las normas indicadas se logra en base a un control técnico estricto durante cada una de las etapas de trituración y clasificación, realizando ensayos continuos en el laboratorio de control de calidad<sup>18</sup>.



Imagen 18.-  
Instalaciones de la “Cantera Tomebamba”

## AGREGADOS PRODUCIDOS POR “CANTERA TOMBAMBA”

TABLA #13

Nombre Genérico	Nombre Local	Norma Técnica*	Tamaño (mm)	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )		Densidad Dsss (Kg/m <sup>3</sup> )	Absorción Po	Abrasión L.A (%)	Módulo Finura	Usos	
				Suelto	Comp.						
Roca Hormigón	Arena Homogeneizada	C33-AF	4.75 - 0.075	1300 - 1400	1575 - 1625	2570 - 1610	2.8 - 3.2	na	2.7 - 3.1	Hormigones	
	Arena Gruesa	D448 #9	4.75 - 1.18	1200 - 1250	1425 - 1500	2580 - 2620	1.7 - 2.1	na	4.6 - 5.0	Hormigones, bloques, postes.	
	Piedra Chispa Fina # 8	C33 #8	9.5 - 2.36	1300 - 1400	1575 - 1625	2585 - 2625	1.7 - 2.1	20-25	5.8 - 6.0	Hormigones, bloques, postes.	
	Piedra Chispa Gruesa # 78	D448 #78	12.5 - 2.36	1200 - 1300	1425 - 1500	2595 - 2635	1.6 - 2.0	22-28	6.1 - 6.3	Hormigones, mezclas asfálticas.	
	Piedra # 67	C33 #67	19 - 4.75	1250 - 1350	1400 - 1475	2590 - 2630	1.8 - 2.2	20-26	6.5 - 6.7	Hormigones, mezclas asfálticas.	
	Piedra Homogeneizada	C33 #57	25 - 4.75	1250 - 1300	1400 - 1475	2580 - 2620	1.8 - 2.2	22-28	6.9 - 7.1	Hormigones, mezclas asfálticas.	
	Piedra 3/4"	C33 #56	25 - 9.5	1200 - 1300	1350 - 1450	2600 - 2640	1.5 - 1.9	24-30	7.2 - 7.4	Hormigones	
	Piedra # 4	C33 #4	37.5 - 19	1200 - 1300	1450 - 1550	2595 - 2635	1.9 - 2.3	20-25	7.7 - 7.9	Hormigones, drenes.	
	Piedra # 467	C33 #467	37.5 - 4.75	1250 - 1350	1475 - 1575	2590 - 2630	1.8 - 2.2	22-28	7.4 - 7.6	Hormigones	
	Piedra # 3	C33 #3	50 - 25	1200 - 1300	1450 - 1550	2595 - 2635	1.9 - 2.3	20-25	8.1 - 8.5	Hormigones, drenes.	
Nombre Genérico	Nombre Local	Norma Técnica*	Tamaño (mm)	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )		Densidad Practor M.	Abrasión L.A.(%)	Desgaste Sulfato (%)	Plasticidad %	Usos	Materia Orgánica
				Suelto	Comp.						
Roca Vial	Arena No Lavada		4.75 - 0	1450 - 1550	1550 - 1650	na	na	na	3 - 9	Mezclas asfálticas	<2
	Base Clase 1- A	814 - 2	38 - 0	1440 - 1530	1580 - 1680	2100 - 2140	20 - 30	1.5 - 2.5	0 - 6	Carreteras, calles	<2
	Sub-base Clase 1-A	816 - 3	40 - 0	1425 - 1525	1585 - 1685	2075 - 2115	25 - 35	1.5 - 2.5	0 - 6	Carreteras, calles	<2
Nombre Genérico	Nombre Local	Norma Técnica*	Tamaño (mm)	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )		Absorción (%)	Abrasión L.A (%)	Desgaste Sulfato (%)	Plasticidad %	Usos	
				Suelto	Comp.						
Rocas Muro	100-50		100 - 50	1200-1300	2550 - 2650	2.0 - 3.0	na	1.5 - 1.7	na	Hormigones ciclópeos, drenes	
	Piedra Bola 250 - 100		250 - 100	1200-1300	2550 - 2650	2.0 - 3.0	25 - 30	1.4 - 1.6	na	Hormigones ciclópeos, drenes	
	250-0		250 - 0	1250-1350	2550 - 2650	2.0 - 3.0	25 - 30	1.5 - 1.7	na	Rellenos especiales	

18 <http://disensa.com/main/pdf/agregados>



**TAMAÑOS ESTÁNDARES DE AGREGADOS PROCESADOS**

TABLA #14

Tamaño	Tamaño Nominal (pulgadas)	Tamaño Nominal (mm)	4" (100mm)	3W" (90mm)	3" (75mm)	2W" (63mm)	2" (50mm)	1W" (37.5mm)	1" (25mm)	3/4" (19mm)	1/2" (12.5mm)	3/8" (9.5mm)	No. 4 (4.75mm)	No. 8 (2.36mm)	No. 16 (1.18mm)	No. 50 (30mm)	No. 100 (150mm)	
(Aberturas Cuadradas)			Cantidades más pequeñas que cada malla (Aberturas Cuadradas), porcentaje de peso															
1	3 <sup>1/2</sup> a 1 <sup>1/2</sup>	90 a 37.5	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15										
2	2 <sup>1/2</sup> a 1 <sup>1/2</sup>	63 a 37.5			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15										
24	2 <sup>1/2</sup> a 5/4	63 a 19.0			100	90 a 100	25 a 60			0 a 10	0 a 5							
3	2 a 1	50 a 25.0				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5							
357	2 a No.4	50 a 4.75				100	90 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5					
4	1 <sup>1/2</sup> a 3/4	37.5 a 19.0					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5						
467	1 <sup>1/2</sup> a No.4	37.5 a 4.75					100	90 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5					
5	1 a 1/2	25.0 a 12.5						100	90 a 100	20 a 35	0 a 10	0 a 5						
56	1 a 3/8	25.0 a 9.5						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5					
57	1 a No.4	25.0 a 4.75						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5				
6	3/4 a 3/8	19.0 a 9.5							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5					
67	3/4 a No.4	19.0 a 4.75							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5				
68	3/4 a No.8	19.0 a 2.36							100	90 a 100		30 a 65	5 a 25	0 a 10	0 a 5			
7	1/2 a No.4	12.5 a 2.36								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5				
78	1/2 a No.8	12.5 a 2.36								100	90 a 100	40 a 70	5 a 25	0 a 10	0 a 5			
8	3/8 a No.8	9.5 a 2.36									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5			
89	3/8 a No.16	9.5 a 1.18									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5		
9	No.4 a No.16	4.75 a 1.18										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5		
10	No.4 a No.0^	4.75											100	85 a 100				10 a 30



Imagen 19.-

Árido grueso obtenido de la explotación de canteras.

Dentro de la producción de áridos en la zona del austro del país se encuentra que más del 65 % de los 440.635,55 de metros cúbicos de producción semestral de áridos para la construcción en canteras y graveras, están destinados a la producción de hormigón, mortero o prefabricados. El 21 % se destina a la ejecución de carreteras.

“Ecuador está viviendo un momento interesante en el sector de la construcción, pues en los últimos años se han aprobado algunas infraestructuras importantes vinculando directamente en la aplicación de concreto; además, Ecuador está viviendo una evolución de su normativa, muy cercana a la normativa americana, para adecuarse a las nuevas tendencias en construcción y a las nuevas necesidades del sector”<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Escuela Politécnica Nacional, agenda de programación viernes 24 de agosto de 2011.





## CAPÍTULO 3.- ANÁLISIS DE LOS MATERIALES RECICLABLES PARA LA OBTENCIÓN DE LOS ÁRIDOS A UTILIZAR.

### 3.1 DETERMINACIÓN DE MATERIALES QUE COMPONEN EL CONCRETO.

El concreto es definido como un material compuesto, que consiste en un medio de enlace dentro del cual se embeben partículas o fragmentos de agregado<sup>20</sup>. Para ello se utiliza un cemento hidráulico, agua, agregado grueso y agregado fino<sup>21</sup>.

Por cemento, es definido como un material que se endurece por reacciones químicas con el agua. El más conocido es el cemento Portland, el cual se produce por la pulverización de clinker que es formado por silicatos de calcio y concentraciones controladas de sulfato de calcio<sup>21</sup>.

Por agregados, se entiende todo material granular como la arena, la grava, piedra triturada o residuos de hierro de los hornos, que son usados con un medio cementante para formar concretos o morteros.

La proporción de agregados oscila entre 0.7 a 0.8 de la mezcla que se prepare<sup>21</sup>. El agregado ocupa un volumen importante del concreto, pero deben ser materiales inertes y estables<sup>22</sup>. La forma, textura y angularidad entre otras características del material pétreo tienen especial efecto en la resistencia y durabilidad del concreto<sup>23</sup>.

<sup>20</sup> Carino N.J., Nondestructive Testing of Concrete: History and Challenges, American Concrete Institute, ACI SP-144, Detroit, MI, 1994. pp. 623-678.

<sup>21</sup> ASTM, Editores Klieger P. y J. F. Lamond, Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials, pp. 630, 1994.

<sup>22</sup> Fernandez B., P. Rivera y J. P. Montt, Con Bajo Impacto Hidrológico Ambiental: Uso de Pavimentos Permeables, Revista BIT, Noviembre, pp. 54-56, 2003.

<sup>23</sup> Al-Rousan T., E. Masad, E. Tutumluer y T. Pan, "Evaluation of image analysis techniques for quantifying aggregate shape characteristics, Construction and Building Materials, Volumen 21, pp. 978-990, 2007.



El agua en el concreto cumple el papel de hidratar el cemento. Para la preparación del concreto y mortero se considera el uso de agua apta para consumo humano. Aguas con contenidos de sustancias químicas, con PH ligeramente ácidos o básicos, y /o con sedimentos tienden a afectar la resistencia y/o apariencia del concreto y morteros<sup>24</sup>.

### 3.2 ESTUDIO DE LA GRANULOMETRÍA DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS.

La distribución granulométrica tiene mucha importancia porque tiene un efecto directo sobre las propiedades del hormigón, como la trabajabilidad, la porosidad, la permeabilidad, la resistencia, el grado de compactación y la durabilidad<sup>25</sup>. Una distribución continua indica que el árido está uniformemente graduado para todos los tamaños, lo que permite un mayor abanico de posibilidades de interacción entre las partículas, y proporciona un grado de compacidad y una resistencia mecánica más elevados<sup>25</sup>.

La granulometría de los áridos reciclados varía según el proceso de trituración que se realice, y puede ser modificada mediante pequeños ajustes de la apertura de las trituradoras. Las trituradoras de impacto son las que reducen de forma más notoria el tamaño de las partículas, a la vez pero, producen más cantidad de finos, seguidas de las quebrantadoras de cono y de las de mandíbulas. El porcentaje de árido grueso que se obtiene suele variar entre el 70% y el 90% del árido total producido. Este porcentaje depende, también, del tamaño máximo del árido grueso reciclado producido y de la composición del residuo original. La fracción gruesa tiene, en general, una curva granulométrica adecuada, que se puede englobar dentro de los husos granulométricos que recomiendan algunas normas internacionales<sup>25</sup>.

La norma Española UNE<sup>26</sup> especifica las distribuciones granulométricas óptimas para gravas, arenas o hasta que pueden ser utilizados para la fabricación de hormigón. Esta norma tiene como propósito obtener una clasificación uniforme en todos los tamaños, lo que conduce a una mayor compacidad, y por lo tanto, una mayor resistencia y durabilidad del hormigón. Esto implica que la curva de distribución granulométrica sea continua y no uniforme, garantizando así propiedades óptimas tanto en el hormigón fresco como al endurecido.

<sup>24</sup> II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Barranquilla, 24 y 25 de septiembre de 2009.

<sup>25</sup> Grupo de trabajo "Hormigón reciclado": "Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural". Universitat Politècnica de Catalunya. Noviembre, 2002.

<sup>26</sup> Asociación Española de Normalización y Certificación. AENOR: Hormigón estructural. Normas UNE, Madrid, España, 1999.



### 3.3 CLASIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.

Los Residuos de la Construcción y Demolición (RCD) se conocen habitualmente como “escombros”, son el conjunto de fragmentos o restos de ladrillos, hormigón, argamasa, acero, hierro, madera, etc., provenientes de los desechos de construcción, remodelación y/o demolición de estructuras, como edificios, residencias, puentes, etc.

Podemos identificar, en los RCD que se producen durante una construcción, la existencia de dos tipos:

- Los RCD (fragmentos) de elementos prefabricados, como materiales de cerámica, bloques de cemento, demoliciones localizadas, etc.
- Los RCD (restos) de materiales elaborados en la obra, como hormigón y argamasas, que contienen cemento, cal, arena y piedra.

Los escombros de construcción se componen de restos y fragmentos de materiales, mientras los de demolición están formados prácticamente sólo por fragmentos, teniendo por eso mayor potencial cualitativo comparativamente con los escombros de construcción.

Para una correcta clasificación de los RCD se debe comenzar por un estudio en el que se evalúe lo siguiente:

- Origen de los materiales.
- Generación de los residuos con análisis del sector generador, localización geográfica, cuantificación de la generación.
- Recolección y transporte.
- Disposición final.
- Composición.

Materiales reciclables.- Los materiales encontrados predominantemente en los RCD, que son reciclables para la producción de agregados, pertenecen a dos grupos, existiendo un tercer grupo que no se



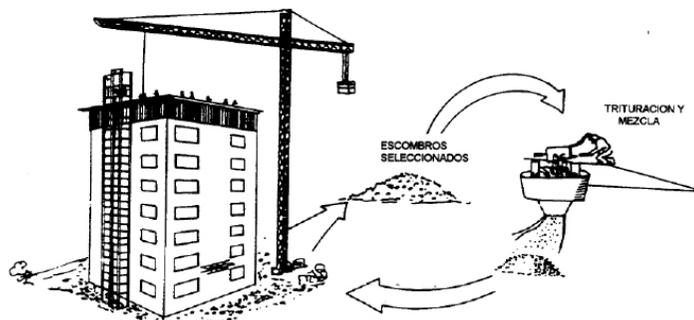
considera reciclable para la producción de agregados:

- Grupo I - materiales compuestos de cemento, cal, arena y piedra: hormigón, argamasas, bloques de concreto.
- Grupo II - materiales cerámicos: tejas, tubos, ladrillos, baldosas.
- Grupo III - RCD no reciclables para agregado de construcción, está compuesto por materiales como: tierra, yeso, metal, madera, papel, plástico, materia orgánica y vidrio. De esos materiales, algunos pueden ser seleccionados y encauzados para otros usos. Así, los embalajes de papel y cartón, madera (combustible), y el mismo vidrio y el metal pueden ser recogidos para reuso o reciclaje.

La composición de los escombros depende de varios factores<sup>27</sup> como, por ejemplo: las características regionales (geológicas y morfológicas); hábitos y costumbres de la población; nivel económico, etc.

## CONSTRUCCION DE UNA EDIFICACION.

Gráfico #1

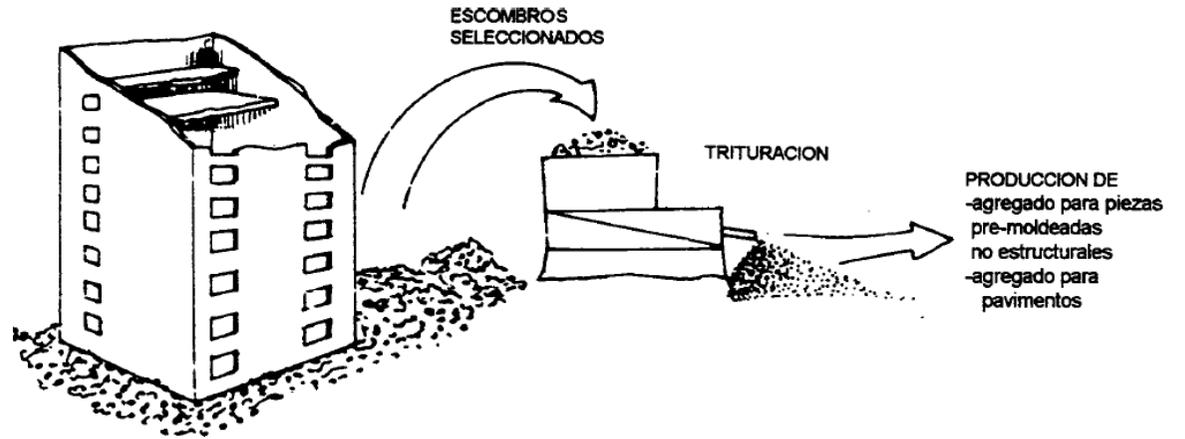


<sup>27</sup> SILVEIRA, G.T.R. Metodologia de caracterização dos resíduos sólidos, como base para uma gestão ambiental. Estudo de caso: entulhos da construção civil em Campinas. Campinas. 1993 (Disertación de maestría ante la UNICAMP).



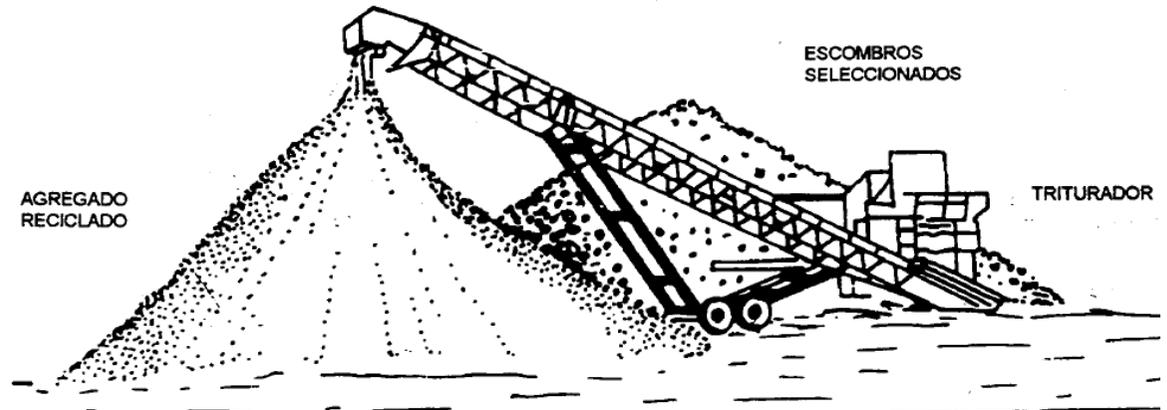
**DEMOLICION DE UNA ESTRUCTURA.**

Gráfico #2



**RECICLAJE EN LUGAR DISTANTE AL DE LA GENERACIÓN DEL ESCOMBO.**

Gráfico #3





El sistema de reciclaje de escombros consta esencialmente de espacios y equipos para la selección, trituración y clasificación de los materiales<sup>28</sup>.

### SISTEMA GENERICO DE RECICLAJE.

TABLA #15

ESCOMBRO	EQUIPO DE TRITURACION	AGREGADOS RECICLADOS
Equipos y personal para separación de los residuos no reciclables como agregado (papel, tierra, vidrio, materia organica, etc.)	Existen diversos tipos de equipos de trituración, elementos magneticos para separar el acero, correas transportadoras, etc.	La calidad del agregado dependerá básicamente de la calidad de la composición del escombros
Area para la recepción del escombros bruto		La granulometría del agregado será establecida en la trituración

Los residuos pueden ser reciclados en instalaciones extremadamente simples o complejas. En instalaciones con alta mecanización, se pueden alcanzar costos mucho menores que los establecidos para los agregados convencionales. De todos modos, se debe tener siempre un control riguroso de la composición y el procesamiento del material para obtener productos de buena calidad.

Para el reciclaje de RCD de pequeñas comunidades (barrios y ciudades menores), es posible usar equipos apropiados para el reciclaje en el propio lugar de la construcción o demolición.

El principio básico de una planta de tratamiento de RCD es la separación y liberación de los elementos que componen el todo y su agrupación en forma homogénea, con vistas a su reutilización, reciclaje, valorización o disposición final de forma controlada. De acuerdo con las operaciones unitarias realizadas en el proceso, las plantas de tratamiento de RCD se pueden clasificar en diferentes niveles de tecnología:

Se denominan plantas de Nivel tecnológico 1 a aquellas que comportan un desbrozado inicial con la retirada de los elementos indeseables y una clasificación de los productos por tamaño. En estas plantas es fundamental la utilización de mano de obra para la selección inicial junto a la pala excavadora o el escogido posterior sobre una cinta de estrío.

<sup>28</sup> PINTO, T.P., LIMA, J.A.R. Industrialização de componentes a partir da definição de uma política de reciclagem de resíduos da construção urbana. En: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO SOBRE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS INDUSTRIALIZADAS PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, 3., FÓRUM BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA- HABITAÇÃO, 1., 1993, São Paulo. Anais... São Paulo: IPT, 1993.



Sería recomendable la instalación de este tipo de plantas de Nivel 1 incluso en centros de transferencia o en vertederos, para conseguir productos más fáciles de valorizar, reciclar o eliminar mediante deposición controlada. A veces, los materiales valorizables separados pueden tener precios interesantes y, desde luego, la gestión posterior del conjunto más homogéneo resulta rentable.

Las plantas de Nivel tecnológico 2 se recomiendan para producir materiales reciclados de aplicación probada en las obras públicas y construcción. La trituración o fragmentación con liberación de los distintos materiales y la clasificación granulométrica de éstos, permite su venta inmediata, disminuyendo notablemente el volumen de residuo a depositar en el vertedero.

Las plantas de Nivel tecnológico 3 son más apropiadas para el tratamiento de materiales limpios, como son los concretos de estructuras armados o no, y escombros cerámicos seleccionados, con un aprovechamiento casi integral de sus componentes. Suelen ser instalaciones de tipo fijo, y son capaces de fragmentar residuos de concreto con grandes dimensiones, especialmente los provistos de trituradores de rodillo de flujo horizontal.

El problema de estas plantas, parece radicar en la obtención de material limpio en el radio de influencia de la instalación. Es particularmente interesante la modalidad de trabajo de estas plantas con mezclas de materiales que cumplen los requisitos especificados por un determinado cliente, quién pagará un sobreprecio por un producto reciclado de acuerdo a su “receta”.

Para las plantas de Nivel tecnológico 4, a base de moliendas selectivas y clasificaciones en húmedo, no se ve próximo una aplicación inmediata, hasta que la reglamentación sobre las tasas de vertido, la obligación de reciclar y los precios de venta de los productos, resulten lo suficientemente atractivos para que el inversor privado vea una rentabilidad tanto o más clara que la de cualquier otra industria extractiva.

La calidad del producto de dos plantas, de igual nivel tecnológico, podrá ser muy diferente dependiendo de los sistemas de separación y clasificación que tenga cada una. Los requisitos de granulometría



son muy importantes, y dependerán de la regulación de los equipos de trituración y de la eficacia del sistema de cribado.

Para la separación de los materiales en un conjunto tan heterogéneo como el que se recibe en las plantas de tratamiento de Residuos de Construcción y Demolición se precisa, en primer lugar, que los componentes se encuentren debidamente liberados y que posean tamaños y formas manejables. Las operaciones unitarias que se pueden realizar en la planta de tratamiento se describen en orden de menor a mayor complejidad.

Selección previa o desbrozado.- Consiste en la separación de los materiales voluminosos y otros valorizables, del pétreo que se va a tratar en la planta. Puede realizarse manualmente o combinado con medios mecánicos.

Clasificación de manera manual.- Probablemente sea la operación más simple y suele situarse al principio del proceso, o intercalada en otras fases posteriores para facilitar la recuperación de productos valorizables o la eliminación de ciertos elementos que entorpecen el paso siguiente. Para realizar la selección manual se suelen instalar cintas transportadoras de banda ancha, rodillos planos y baja velocidad, montadas sobre una estructura elevada respecto al terreno, con pasillos a ambos lados sobre los que se disponen los operarios, que escogen los materiales a separar (metales, maderas, plásticos, etc.) y los depositan en unos buzones. En la parte baja se colocan los distintos contenedores que recogen los materiales seleccionados.

Clasificación por tamaños o granulometrías.- La clasificación granulométrica se realiza con equipos mecánicos de cribado, como son los siguientes:

- Parrillas inclinadas
- Precribadores vibrantes o “grizzly”
- Cribas vibrantes

Por la separación magnética se retiran elementos férricos valorizables o que entorpecen la fase siguiente del proceso. Son máquinas del tipo



overband (sobre banda). Detrás de toda trituración debe existir una separación magnética que elimine los materiales metálicos liberados, por las siguientes razones:

Los metales férricos son materiales valorizables. De hecho, la armadura de acero del concreto es un producto que se vende muy fácilmente en las instalaciones de reciclado de residuos de construcción y demolición.

Los agregados reciclados obtenidos a partir de RCD deben tener la mínima cantidad posible de metales, puesto que a mayor presencia de éstos en el agregado, menor calidad del reciclado. Además, la presencia de materiales férricos en la etapa de trituración secundaria reduce sensiblemente la vida útil de la maquinaria debido a su excesiva abrasividad.

Operaciones de trituración o machaqueo.- Se reduce el tamaño del escombro y, a la vez, se consigue la liberación de los materiales, como en el caso del hierro en el hormigón armado. Se distingue entre trituración primaria y secundaria según sea el tamaño alimentado y la granulometría del producto requerido. Los equipos utilizados son los siguientes:

- El triturador de rodillo, de flujo horizontal reduce el tamaño de acuerdo con la proximidad de la base del alimentador de placas que le suministra material. Tiene la ventaja de poder situarse a nivel del suelo o con una rampa de inclinación mínima, lo que le hace muy ventajoso para la trituración de vigas de hormigón de gran longitud.
- Las machacadoras de mandíbulas, de flujo horizontal o vertical. Son de construcción muy robusta, con gran abertura de entrada para elementos voluminosos y fiabilidad de funcionamiento. El inconveniente de estas máquinas es que producen materiales de baja cubicidad, y su ventaja es que sufren menores desgastes aún con materiales muy abrasivos.
- Los trituradores de impacto, disponen de un rotor provisto de barras que lanzan el material contra las paredes internas, revestidas con placas de acero antiabrasivo, reduciendo su tamaño en una relación muy alta con respecto a la alimentación. La cubicidad del



producto final los hace imprescindibles en la trituración secundaria.

Clasificación neumática.- Se recurre a la clasificación neumática para retirar fragmentos de los elementos más ligeros, como son los papeles y plásticos, que contaminan un material reciclado. Existen diversos sistemas de separación neumática:

- De aspiración vertical, consiste en un alimentador que deposita el material cribado sobre un depósito cilíndrico unido a un ventilador. El ventilador crea una depresión que aspira los ligeros por la parte superior.
- Criba neumática, Consiste en un recipiente inclinado con un tamiz a través del cual se inserta aire desde la parte inferior. El material ligero es expulsado hacia un lateral mientras el pesado continúa su avance.
- Túnel de viento de doble efecto, mediante una corriente de aire los materiales ligeros son desplazados a la salida de un transportador.

**Plantas de reciclaje.**- De acuerdo a su movilidad, las plantas de tratamiento pueden clasificarse en: móviles, semi-móviles o fijas. Las plantas móviles y semi-móviles entran dentro del grupo de plantas destinadas a reciclar directamente en obra, mientras que las plantas fijas necesitan unas instalaciones propias y terrenos que se traducen en una inversión elevada.

Plantas Fijas.- Las Plantas fijas de tratamiento gestionan residuos muy heterogéneos. La heterogeneidad de los residuos de construcción y demolición obliga a equipar la planta con maquinaria de gran robustez y sobredimensionada para la capacidad prevista en otras aplicaciones.

Cuando se elige un emplazamiento para construir una planta de residuos de construcción y demolición, se debe estimar no solo la cantidad de residuos de construcción y demolición generados en el radio de influencia de la planta sino también la producción de material reciclado que se puede utilizar en la construcción del entorno. Se define el radio de influencia como la distancia para la cual al agente generador del residuo le resulta más rentable trasladar los residuos de construcción y demolición a la planta que depositarlos en vertedero.

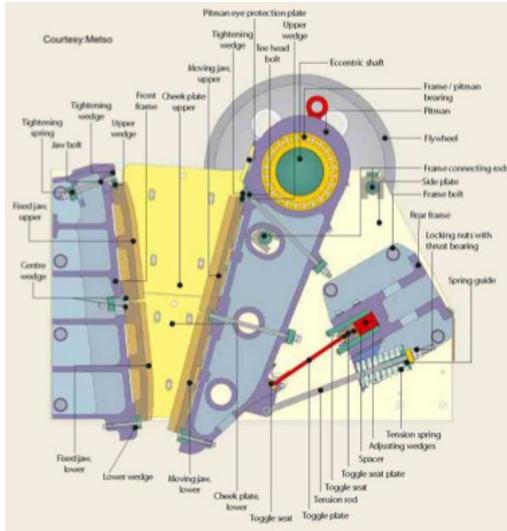


Imagen 20.-

Trituradora de Mandíbulas

Fuente: Catálogo de trituradoras. <http://www.metsominerals.com>

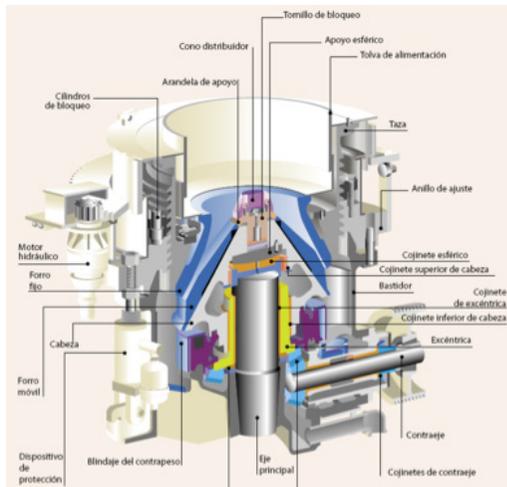


Imagen 21.-

Trituradora de Conos

Fuente: Catálogo de trituradoras. <http://www.metsominerals.com>

Las plantas fijas incorporan una tecnología similar a la de las plantas de producción de áridos naturales aunque incorporan sistemas para la eliminación de impurezas y contaminantes. Su capacidad productiva es, por lo general, superior a las plantas móviles. Los sistemas de trituración empleados pueden ser de mandíbulas, de impactos o de conos<sup>29</sup>.

- Trituradoras de Mandíbulas.- Generan una cantidad de finos inferior al 10% del material triturado con una buena distribución del tamaño del árido para fabricar hormigón, la forma de las partículas es angulosa. Es la más apropiada para la trituración primaria y la incorporan tanto plantas fijas como móviles por su alta capacidad y bajo costo. Ver imagen 20.
- Trituradoras de Conos.- Ofrecen rendimientos elevados con una reducción considerable de costos de desgaste y mantenimiento. El mayor inconveniente que presentan es que no admiten tamaños muy grandes de partículas aunque el árido final obtenido en ellas presenta mayor calidad. Suelen utilizarse en la trituración secundaria. La cantidad de finos producida está entorno al 20%. Ver imagen 21.
- Trituradoras o Molinos de Impacto.- Permiten obtener altos valores de reducción y un producto más fino obtenido en menos etapas de trituración lo que supone reducir los costos de inversión y de explotación. Generan hasta un 40% de finos. El mayor inconveniente es el gran desgaste que sufren los martillos. Ver imagen 22.

Plantas móviles y semimóviles.- Las plantas móviles tienen la ventaja de poder ubicarse temporalmente en los centros de generación del residuo con alta disponibilidad a plena carga. Se trasladan por un sistema de orugas (autopropulsadas) o con ruedas de neumáticos (necesitan de cabeza tractora para su traslado). El sistema de orugas es más costoso y está diseñado para el traslado frecuente de la maquinaria por terrenos irregulares y en mal estado. Para el traslado de la maquinaria por diversos emplazamientos fijos y separados por importantes distancias, es recomendable el sistema de neumáticos.

<sup>29</sup> EUROPEAN DEMOLITION ASSOCIATION (EDA). "Demolition and Construction Debris: Questionnaire about an EC Priority Waster Stream". The Hague, 1992



Este tipo de plantas resultan más caras que las fijas por unidad de tonelaje tratado debido a su carácter compacto y sistema de movimiento. Igualmente son más selectivas en cuanto a la tipología y tamaño del escombros tratado, quedando limitada la calidad de sus productos a las operaciones unitarias que incluyen. Ver imagen 23.

### 3.4- ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS TRITURADOS PREVIO A LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO.

En la fase de trituración de los RCD, se debe controlar un elemento importante del agregado reciclado: la granulometría, que deberá ser adecuada a la finalidad establecida. El agregado reciclado podrá utilizarse como arena y/o piedra picada.

**Mortero Adherido.**- La principal diferencia entre los áridos reciclados y los áridos naturales está en la cantidad de mortero adherido que incorporan los primeros debido al hormigón original del que proceden. La cantidad de mortero adherido hace que los áridos reciclados presenten propiedades distintas a los naturales que se reflejan en un aumento de la absorción de agua, menor densidad, menor resistencia, menor dureza y menor resistencia a la fragmentación. El hormigón fabricado con ellos estará directamente condicionado por dichas propiedades.

No existe un procedimiento normalizado para evaluar estas cantidades aunque suelen emplearse métodos<sup>30</sup> que tratan de eliminarlo de la superficie del árido original. Una forma de evaluarlo consiste en fabricar un hormigón nuevo con los áridos reciclados y con cemento coloreado. Una vez cortadas las probetas y pulidas sus caras se procede a evaluar mediante un plánumetro la superficie del mortero adherido distinguiéndose del nuevo por su coloración<sup>31</sup>, de esta manera se puede estimar el volúmen del mismo.

**Granulometría.**- Para la clasificación por tamaño de las distintas fracciones se siguen las recomendaciones de la norma Española UNE<sup>26</sup>, en la que establece como serie básica de tamices la formada por los siguientes: 0,063 - 0,125 - 0,250 - 0,500 - 1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 31,5 - 63 - 125 mm. Para el árido fino, la instrucción utiliza únicamente los tamices de dicha serie. Para el árido grueso, utiliza además los tamices 10 - 20 - 40 mm.

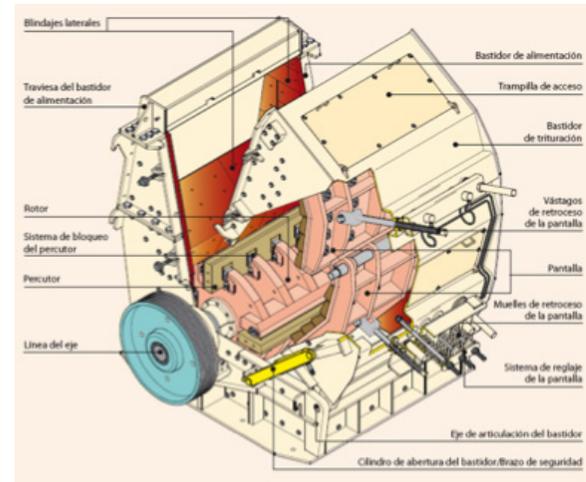


Imagen 22.-

Trituradora de Impactos

Fuente: Catálogo de trituradoras. <http://www.metsominerals.com>

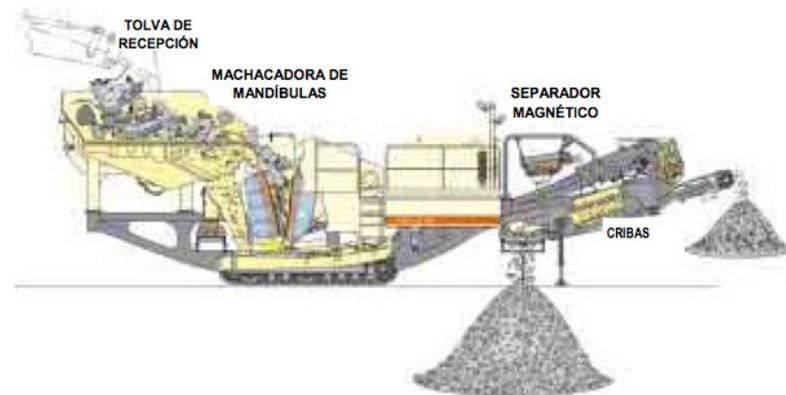


Imagen 23.-

Planta móvil de reciclaje

<sup>30</sup> BARRA M. "Estudio de la Durabilidad del Hormigón de Árido Reciclado en su Aplicación como Hormigón Estructural". Tesis doctoral. Universidad politécnica de cataluña. 1996.

<sup>31</sup> HANSEN, T. C. BOEEGH, E. "Elasticity and Drying Shrinkage of Recycle Aggregate", ACI Journal Vol 82 No 5, pag 648-652, octubre 1985.



La granulometría del árido reciclado depende fundamentalmente del sistema de trituración que se haya empleado en un proceso de producción. Las trituradoras de impacto, por lo general, son las que permiten alcanzar reducidos tamaños en los áridos produciendo como consecuencia mayor cantidad de finos. A estas trituradoras las siguen las de conos con una producción de finos inferior y las machacadoras de mandíbulas.

La cantidad de árido grueso generado oscila entre el 70% y el 90% de la producción<sup>32</sup>. Por lo general, esta fracción gruesa se ajusta a los requerimientos que exigen las normativas vigentes quedando enmarcada dentro de los usos granulométricos de referencia establecidos en ellas. Es evidente que el tamaño obtenido en la trituración depende fundamentalmente del tamaño que tenía el hormigón de procedencia. Los áridos reciclados presentan formas angulosas debido al proceso de machaqueo y un aspecto rugoso como consecuencia del mortero adherido a ellos.

Para el mismo tamaño máximo de árido, un árido reciclado experimenta pequeñas variaciones de su módulo granulométrico si el sistema de trituración empleado ha sido el mismo que para el árido natural<sup>33</sup>.

Como consecuencia de la disgregación que sufre el árido grueso reciclado durante su transporte y almacenamiento, una vez triturado se siguen obteniendo porcentajes muy reducidos de arena<sup>34</sup>. Dichos valores oscilan entre el 0,5% y el 2%. Esta fracción fina se caracteriza por presentar un elevado contenido de mortero influyendo negativamente en las propiedades del hormigón.

Forma y Textura Superficial.- Para determinar la forma del árido natural grueso se empleó el método del índice de lajas, se obtiene valores menores en el árido reciclado<sup>35</sup>. Quizás pueda deberse a que el espesor de las partículas aumente debido a la aculación de mortero en las caras planas de las partículas con forma de lajas. De esta forma se reduce el porcentaje de lajas. La EHE establece el 35% como el valor mayor que puede tomar el índice de lajas.

El coeficiente de forma de las partículas es directamente afectado por el sistema de trituración empleado en la obtención del árido reciclado<sup>36</sup>.

<sup>32</sup> EUROPEAN DEMOLITION ASSOCIATION (EDA). "Demolition and Construction Debris: Questionnaire about an EC Priority Waste Stream". The Hague, 1992.

<sup>33</sup> HB 155-2002: "Guide to the use of recycle concrete and masonry materials". Standards Australia.

<sup>34</sup> GOMEZ, J.M.V. VAZQUEZ, E. AGULLO, L. "Hormigón con áridos reciclados. Una guía de diseño para el material". Monografía CIMNE. No 60. Mayo 2001.

<sup>35</sup> GONZALEZ, FONTEBOA. "Recycled aggregates concrete: aggregate and mix properties". Materiales de Construcción Vol. 55 pag 53-66, julio 2005.

<sup>36</sup> Collins R.J. 1994. The use of recycled aggregates in concrete. BRE report, Building Research Establishment, U.K. May.



Las machacadoras de mandíbulas proporcionan áridos reciclados con un coeficiente de forma más adecuado que las trituradoras de impactos o de conos.

Densidad.- La densidad del árido reciclado es menor que la del árido convencional ya que el primero presenta una capa de mortero adherido cuya densidad es inferior a la del árido. La fracción fina obtenida es la que menor densidad tiene debido a la mayor cantidad de mortero adherido que poseen sus partículas por unidad de peso.

Los factores más influyentes sobre la densidad son:

- El proceso de producción del árido.
- El tamaño de las fracciones obtenidas.
- El grado de contaminación.

Si en el proceso de fabricación del árido reciclado se empleó una trituradora de impactos, el valor obtenido en la densidad es ligeramente superior que en los casos en que para su obtención se hayan empleado trituradoras de conos o machacadoras de mandíbulas<sup>37</sup>. Esto es debido a que la trituradora de impactos elimina mejor el mortero adherido en el árido grueso. Sin embargo, en la producción del árido fino son los otros sistemas de trituración los que permiten obtener mejores resultados, obteniéndose valores de la densidad mayores.

Combinando varias trituradoras diferentes, en el proceso de producción se obtienen áridos reciclados de muy buena calidad ya que se consigue reducir en mayor proporción la cantidad de mortero adherido a los áridos originales<sup>38</sup>. Dichos áridos alcanzan un valor correspondiente al 90% de la densidad del árido natural, después de haberlos sometido a dos etapas sucesivas de triturado mediante machacadora de mandíbulas y trituradora de impactos. Dicho valor alcanza el 95% cuando son cuatro las etapas de trituración.

Absorción.- La absorción en los áridos reciclados alcanza valores muy superiores a los obtenidos en los áridos naturales. Esto es debido a la cantidad de mortero adherido que presentan dichos

<sup>37</sup> UNE-EN 1097-3 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2. Determinación de la densidad en los áridos.

<sup>38</sup> NAGATAKI, S.; GOKCE, A.; SAEKI, T.: "Effects of recycled aggregate characteristics on the performance parameters of recycled aggregate concrete". Proceedings of the Fifth Canmet/ACI International Conference on Durability of Concrete, p.p. 51-71 June 4-9, 2000, Barcelona.



áridos. En áridos naturales los valores de la absorción oscilan entre un 0% y un 4% mientras que los valores en áridos reciclados van desde un 3,3% hasta un 13%<sup>39</sup>.

El tamaño del árido reciclado influye de manera decisiva sobre la absorción. En las fracciones más finas la absorción es mayor, ya que en ellas la cantidad de mortero adherido es superior que en las fracciones más gruesas, siendo más acusado dicho efecto cuanto menor sea la densidad del árido reciclado

Contenido de Cloruros.- El contenido de cloruros que pueden presentar los áridos reciclados puede ser importante cuando provengan de obras en las que hayan estado en contacto con sales fundentes como, por ejemplo, en pasos de alta montaña, cuando hayan estado en contacto directo con agua del mar y si en la fabricación del hormigón se empleó como aditivo algún producto acelerante.

Cuando los hormigones origen de los áridos reciclados no estuvieron expuestos a las condiciones del párrafo anterior los valores de los cloruros solubles en agua y los cloruros totales oscilan entre el 0,001% y el 0,005%<sup>39</sup>.

Contenido de Sulfatos.- La cantidad de sulfatos contenida en el árido reciclado puede ser importante debido a la suma de los correspondientes al árido natural con los del mortero adherido al árido y, en el caso de hormigones procedentes de edificación, a la presencia de yeso como contaminante.

Dichos sulfatos pueden provocar problemas en el hormigón, ya que pueden dar lugar a su combinación con el aluminato tricálcico hidratado del cemento formando ettringita (sulfoaluminato tricálcico hidratado) y provocar fuertes expansiones. Otra posible transformación es la del hidróxido de calcio libre o liberado durante la hidratación del cemento en yeso que conlleva, igualmente, un aumento de volumen que puede llevar a la rotura del hormigón<sup>40</sup>.

Reacción Alkali - Arido.- Determinados tipos de áridos que contengan sílice reactiva pueden reaccionar con los álcalis del cemento portland formando un gel que provoca expansiones peligrosas en el

<sup>39</sup> <http://www.b-i-m.de/public/tudmassiv/dacon97ruehl.htm>

<sup>40</sup> FERNÁNDEZ CANOVAS. M.: "Hormigón". Servicio de Publicaciones de la E.T.S.I De Caminos, Canales y Puertos. 1991.



hormigón. La reactividad entre los álcalis y la sílice es proporcional a su hidratación. Las mayores expansiones se producen con una determinada cantidad de sílice reactiva. Si la cantidad está por encima o por debajo dichas expansiones disminuyen.

Cuando se utilizan áridos reciclados dicha reacción puede verse favorecida debido al mortero adherido que llevan consigo y que aumenta el contenido de alcalinos<sup>40</sup>.

Como el control de la procedencia de los áridos reciclados presenta dificultades y la utilización de cementos con adiciones de cenizas volantes o escorias, estos pueden disminuir la reacción álcali-árido, por tal motivo puede ser conveniente utilizar estos cementos en la fabricación de hormigón con áridos reciclados.

Contaminantes e Impurezas.- La presencia de impurezas y contaminantes en los áridos reciclados perjudican notablemente las propiedades del hormigón fabricado con ellos. La madera, plásticos, yeso, metales, vidrio, ladrillos, asfaltos, materia orgánica, etc, son los contaminantes que se presentan con mayor frecuencia.

Uno de los mayores perjuicios que provocan sobre el hormigón es la caída de su resistencia a compresión. Cuando los elementos contaminantes son restos arcillosos o de cales la disminución en la resistencia es mayor que si el árido reciclado incorpora restos de asfalto o pinturas.

La presencia de un tipo u otro de contaminantes depende de la procedencia del árido reciclado. El árido reciclado procedente de escombros de hormigón presenta un contenido de impurezas bastante inferior al que incorporan los áridos procedentes de escombros de demolición<sup>40</sup>.



## **CAPÍTULO 4.- ANÁLISIS DE PROCESOS REALIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON ÁRIDOS RECICLADOS**

### **4.1 PROCESOS PARA CARACTERIZAR EL HORMIGÓN ELABORADO CON ÁRIDOS RECICLADOS PRODUCTO DE LA DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN.**

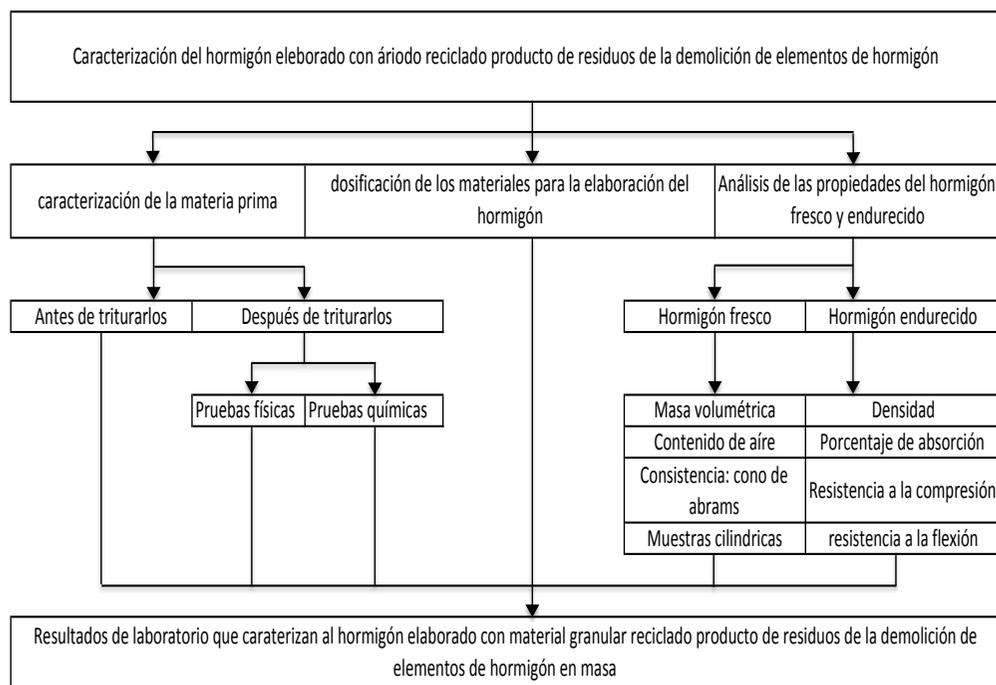
Para la caracterización del hormigón elaborado con áridos reciclados se recoge el estudio realizado por: J. C. Rolón Aguilar, D. Nieves Mendoza y R. Pichardo Ramírez (profesores representantes de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico (México)), R. Huete Fuertes y B. Blandón González (profesores representantes de la Universidad de Sevilla, Sevilla (España)) y A. Terán Gilmore (profesor representante de la Universidad Autónoma Metropolitana, Atzacapotalco (México)), mediante el programa de mejoramiento del profesorado (PROMEP) promovido por la secretaría de educación pública, en el país de México.

Los autores desarrollaron un proceso que se puede clasificar en tres etapas (ver tabla #16), la primera que consistió en identificar y obtener la materia prima, la cual obtuvieron de la demolición de pavimentos. La segunda etapa, donde procesaron esta materia prima, y obtuvieron así el árido grueso que utilizaron en la elaboración del hormigón, caracterizando a ésta física y químicamente; y una tercera que consistió en diseñar mezclas de hormigón para posteriormente caracterizarlo en su estado fresco y endurecido.



## PROCESO DE CARACTERIZACIÓN DEL HORMIGÓN CON ÁRIDO RECICLADO

TABLA #16



Las muestras que fueron sometidas a un análisis para una posterior trituración los autores obtuvieron de residuos de obras de demolición de pavimentos de hormigón.

Para regular los resultados de cada ensayo de los áridos reciclados y sus mezclas de hormigón los autores utilizaron normas Españolas UNE<sup>26</sup>, en donde obtuvieron las propiedades del material granular reciclado, y de esta manera determinaron la granulometría de las partículas.

En las pruebas físicas y químicas que los autores realizaron a los áridos reciclados, obtuvieron parámetros importantes, como fue el caso de la absorción y el contenido de partículas blandas, teniendo presente que



para ambos casos fue debido al material cementante adherido al árido.

Cuando realizaron el diseño de la mezcla del hormigón los autores utilizaron el método por volumen absoluto, en donde tuvieron que conocer: el peso específico del cemento, de la arena y de la grava, la relación agua/cemento en peso, el módulo de finura del agregado fino y la clasificación por tamaño del agregado grueso. de esta manera procedieron a elaborar cada una de ellas, para lo cual plantearon un esquema de ensayos que les permitió al final definir las características de cada mezcla tanto en su estado fresco como endurecido.

El árido reciclado, producto de la demolición de pavimentos de hormigón, tiene ciertas desventajas físicas y mecánicas con respecto a los áridos naturales, esto es debido a que en realidad es un árido compuesto por dos materiales, un árido natural y el mortero adherido, lo que conlleva el tener un nuevo material con características diferentes y desventajas mecánicas, tales como la porosidad, absorción, adherencia a los nuevos elementos que conforman el hormigón, baja densidad y efectos de baja resistencia un tanto aceptable a la compresión.

#### **4.2 PROCESOS PARA OBTENER PROPIEDADES DE LOS ÁRIDOS Y DE LAS MEZCLAS EN HORMIGONES CON ÁRIDOS RECICLADOS.**

Para determinar las propiedades de los áridos y de las mezclas de los hormigones elaborados con áridos reciclados se recoge el estudio realizado por: B. González Fonteboa y F. Martínez Abella, personas que integran el grupo de trabajo que se enmarca en el proyecto “Diseño Integrado de Hormigones de Altas Prestaciones dirigido al Usuario (DIHAPO)”, ref 1FD97-1973-C02-01, financiado con fondos FEDER de la Unión Europea, en la universidad de la Coruña.

Los autores abordaron desde dos aspectos las propiedades de los áridos reciclados y de las mezclas, las mismas que se desglosan en: características de los áridos y ensayo de las mezclas.

En lo referente a los áridos los procesos que desarrollaron corresponden a ensayos de densidad, absorción, granulometría, coeficiente de forma, índice de lajas y dureza. Estos procesos lo compararon con áridos convencionales obteniendo resultados que han puesto de manifiesto



que, a pesar de que existen diferencias notables (sobre todo en cuanto a densidad y absorción) con los áridos naturales, las características de los áridos hacen posible la fabricación de hormigones.

En las mezclas los procesos que desarrollaron corresponden a ensayos para obtener propiedades físicas (densidad en fresco, en estado endurecido y absorción) y propiedades mecánicas (resistencia a compresión, resistencia a tracción y módulo de deformación). Estos procesos al igual que en los áridos fueron comparados con mezclas de hormigón convencional. Los resultados indican que la sustitución del 50 % del árido grueso proporciona hormigones de características físicas y mecánicas similares a las del hormigón convencional.

Características de los áridos.- La procedencia del árido grueso reciclado que utilizaron para la fabricación de hormigones, corresponde a hormigones estructurales de pavimentos, los mismos que se obtuvieron mediante el proceso de una trituradora de mandíbulas.

**Densidad.**- De los resultados que obtuvieron, la densidad del árido reciclado es un 11,4% menor que el árido convencional. Este resultado según criterio de los autores fue debido al mortero que tienen adherido los áridos reciclados.

**Absorción.**- De acuerdo al criterio que establecieron del mortero adherido en los áridos reciclados, la absorción de estos es muy superior a la de los naturales, llegando a ser 40 veces superior en promedio que las correspondientes naturales.

**Granulometría.**-En general los áridos reciclados y convencionales presentaron curvas granulométricas continuas y módulos granulométricos similares, y de acuerdo a criterio de los autores estos resultados influyeron positivamente en la maleabilidad de todas las mezclas.

**Coefficiente de Forma.**- Tanto los áridos gruesos naturales como los reciclados presentaron formas angulosas, con numerosas caras de fractura. Esto hace suponer según los autores que la trabajabilidad se verá influida de forma similar en todas las mezclas.

**Índice de Lajas.**- Los resultados de los ensayos determinaron que es



mayor en los áridos naturales utilizados.

**Dureza.-** De manera general, los áridos reciclados presentaron mayor desgaste que los naturales a causa según criterio de los autores del desprendimiento de los restos de mortero adherido.

Ensayo de las Mezclas.- El método de diseño de mezclas que utilizaron para la realización de las muestras se basaron en el de Bolomey.

No consideraron la sustitución de árido fino convencional por árido fino reciclado de acuerdo a normativas como la japonesa<sup>41</sup> o inglesa<sup>42</sup>.

Y por otro lado diversas normativas como son Bélgica<sup>43</sup>, Hong Kong<sup>44</sup>, Holanda<sup>45</sup> contemplan la posibilidad de introducir áridos gruesos reciclados en la fabricación de hormigón, estableciendo límites variables al porcentaje de sustitución del árido grueso, lo que se liga directamente a la pérdida de resistencia del hormigón resultante. Por debajo del 20% los efectos son mínimos, mientras que por encima del 50% comienzan a ser importantes.

Los autores establecieron como parámetros de diseño los correspondientes a un hormigón sometido a una clase de exposición normal y consistencia blanda (6-9 cm de asiento en Cono de Abrams). Con este dato como partida, establecen la relación A/C (agua total/material cementante); menor o igual 0,55 (este valor incluyó el agua que aportan los áridos debido a su humedad y que se calculó previamente a la fabricación), contenido de cemento 300 kg por metro cúbico, resistencia a compresión a alcanzar en 28 días 300 kg/cm<sup>2</sup>.

Realizaron 10 muestras de hormigón convencional y 10 de hormigón reciclado sustituyendo el 50% de árido grueso reciclado por el convencional.

#### Propiedades físicas de las mezclas:

**Consistencia.-** Tras el período de realización de muestras realizaron el ensayo de consistencia mediante el cono de Abrams según el cual todas las mezclas presentaron consistencia blanda (cono de Abrams entre 6 y 9 cm, tolerancia  $\pm 1$ ).

<sup>41</sup> Y. Kasai: "Guidelines and the Present State of the Reuse of Demolished Concrete in Japan"; Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Proceedings of the Third International RILEM Symposium; Ed. Erik K. Lauritzen (1993), pp. 93-104; ISBN: 0-412-32110-6.

<sup>42</sup> Concrete-Complementary British Standard to BS EN 206-1: Part. 2: Specification for constituent materials and concrete.

<sup>43</sup> B. P. Simons, F. Henderieckx: "Guidelines for Demolition with Respect to the Reuse of Building Materials: Guidelines and Experiences in Belgium"; Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Proceedings of the Third International RILEM Symposium; Ed. Erik K. Lauritzen (1993), pp. 25-34; ISBN: 0-412-32110-6.

<sup>44</sup> B(W) 209/32/105 Group 5, 12. Works Bureau Technical circular 12/2002: Specifications Facilitating the Use of Recycled Aggregates.

<sup>45</sup> CU R. Rapport 125: Betonpuingranulaat en metselwerk-puingranulaat als toeslangmateriaal voor beton.



**Densidad en estado fresco y endurecido.**- Sobre todas las probetas que fabricaron determinaron densidad en estado fresco y en estado endurecido. Los valores de la densidad que obtuvieron en estado fresco determina que el hormigón convencional presenta los valores más altos, con una diferencia de 1,15% más que el hormigón reciclado. Y los valores en estado endurecido de igual manera el hormigón convencional presenta una diferencia mayor de 1,5% con respecto al hormigón reciclado.

**Absorción.**- Realizaron ensayos de absorción sobre probetas cúbicas de cada uno de los hormigones siguiendo la norma ASTM-C642-97.

De cada muestra tomaron tres probetas cúbicas que se seccionaron por la mitad.

Sobre cada una de estas mitades realizaron el ensayo de absorción. Los resultados que obtuvieron indican una mayor absorción en los hormigones reciclados, con un porcentaje de aumento en la absorción tras inmersión de 16,61% y de la absorción tras inmersión y hervido de 15,96%. Según el criterio de los autores, el mortero adherido de los áridos reciclados es poroso lo que provoca que la penetración de agua en los poros accesibles aumente con respecto a un hormigón convencional.

#### Propiedades mecánicas de las mezclas:

**Resistencia a compresión.**- La resistencia de los hormigones, con el 50% de áridos gruesos naturales sustituidos por áridos reciclados, lo controlaron por tres fenómenos:

- **Cantidad de agua:** Los áridos reciclados presentaron una elevada absorción de forma que, estando secos inicialmente, incorporan una cierta cantidad de agua que no reaccionará con el cemento. Así, la cantidad de agua en la pasta de estos hormigones es menor que la de los hormigones convencionales, lo que provocó que puedan llegar a desarrollar mayores resistencias.
- **Cantidad de cemento:** El aumento en la cantidad de cemento de los hormigones reciclados para mantener las consistencias, aun manteniendo la relación A /C, produce un aumento en la cantidad de



pasta en la mezcla, con lo que se consiguió sellar mejor los huecos y se produce una mayor acción conglomerante.

- *Características de los áridos:* A pesar de que los áridos reciclados que utilizaron presentaron unas buenas características en cuanto a granulometrías, forma, y dureza, la unión mortero adherido-mortero nuevo constituyó un punto débil en los hormigones fabricados con estos áridos.

Los autores trabajaron con un aumento de un 6,2% en el contenido de cemento “tuvieron presente que esto puede causar micro fisuras a edades tempranas debido a la retracción plástica a la cual estaría más propensa” y con los áridos en estado seco, las resistencias a compresión de los hormigones reciclados resultaron similares a las de los hormigones convencionales.

**Resistencia a tracción.**- El árido reciclado que incorporaron no tiene especial influencia en la resistencia a la tracción de los hormigones con los que trabajaron.

En este caso, los resultados que los autores obtuvieron sobre la evolución de resistencias a la tracción con la edad, mostró que ésta se produce en igual magnitud en hormigones convencionales que en reciclados.

**Módulo de deformación.**- Los resultados que obtuvieron los autores indican que las muestras que presentaron menores valores de módulo de deformación fueron las correspondientes a los hormigones que incorporan árido reciclado (-11,32% a 7 días y -17,60% a 28 días).

#### **4.3.- PROCESOS PARA LA APLICABILIDAD DEL HORMIGÓN CON ÁRIDO GRUESO RECICLADO.**

Para la aplicabilidad del hormigón elaborado con áridos gruesos reciclados se recoge el estudio realizado por: E. Pavón, M. Etcheberria y N. Díaz (profesores representantes del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría) promovido por la Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, España).

Para determinar los procesos de aplicabilidad del hormigón elaborado



con áridos gruesos reciclados, los autores utilizaron áridos reciclados provenientes de cuatro fuentes diferentes, cada uno de ellos de diferente calidad.

1. Demolición selectiva de un edificio de oficinas, del cual se utilizó el hormigón de las losas prefabricadas del entrepiso (AR1).
2. Probetas que fueron sometidas a ensayo de resistencia a compresión de un laboratorio de Materiales de Construcción (AR2).
3. Hormigón de paneles de fachadas defectuosos producidos en una planta de prefabricado (AR3).
4. Losas de cubierta y de pisos defectuosas producidos en una planta de prefabricado (AR4).

Cada uno de los escombros lo trituraron en una machacadora de mandíbulas, la cual dio como producto áridos con una buena distribución de tamaños y un reducido contenido de finos.

La granulometría de los cuatro áridos reciclados fue similar al árido natural, obtuvieron en todos los casos un tamaño máximo de 19mm.

Los escombros de hormigón de peor calidad (AR4) produjeron áridos de menor densidad  $2,13\text{kg/dm}^3$  y con mayor porcentaje de absorción 9%, tal y como los autores esperaban que suceda de acuerdo a los resultados obtenidos por otros investigadores<sup>46 47</sup>. Por otro lado ellos sostienen que tienen una forma más redondeada.

Luego establecieron 2 etapas de aplicabilidad de los áridos gruesos reciclados, la primera cuyo objetivo fue determinar el porcentaje óptimo de sustitución del árido grueso natural y la segunda utilizando el árido grueso reciclado de peor calidad en la fabricación de hormigón cuyo objetivo fue comparar el porcentaje de árido grueso natural que pudiera ser sustituido.

Para cada una de las etapas en la fabricación de los hormigones los

<sup>46</sup> Sánchez de Juan, M., Alaejos Gutiérrez, P.: "Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate", Construction and Building Materials, Vol. 23, (2009), pp. 872-877. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.04.012>

<sup>47</sup> Gonzalez-Fonteboa, B., Martinez-Abella, F.: "Hormigones con áridos reciclados: estudio de propiedades de los áridos y de las mezclas", Materiales de Construcción, Vol. 55, No 279 , (2005).



autores establecieron como parámetros el asentamiento del hormigón fresco en  $12 \pm 2$  cm, utilización de 0,50 la relación A/C, contenido de cemento 430 kg por metro cúbico, resistencia a compresión a alcanzar en 28 días  $250 \text{ kg/cm}^2$ .

De la primera etapa los autores pudieron determinar que no se detectaron diferencias entre la resistencia a compresión del hormigón convencional y los cuatro hormigones reciclados para sustituciones inferiores al 50%.

Todos los hormigones que elaboraron con áridos reciclados obtuvieron resistencias superiores a  $250 \text{ kg/cm}^2$ . En los hormigones con 50% de sustitución, a pesar de existir diferencias de un 15% en la resistencia a compresión entre el hormigón fabricado con el árido de mejor calidad (AR1) y de peor calidad (AR4), todos los hormigones obtuvieron la mínima resistencia establecida.

En los cuatro hormigones que fabricaron con 100% de árido reciclado, observaron caídas de resistencias del 15% en el hormigón fabricado con el árido de mejor calidad (AR1) y hasta un 35% en el hormigón fabricado con el árido de peor calidad (AR4) respecto al hormigón convencional.

En la segunda etapa los autores determinaron que en los hormigones fabricados con el árido de peor calidad (AR4), solo sería posible emplear el árido reciclado en un 25 y 50% en sustitución al árido natural ya que en el caso del hormigón fabricado con 100% de árido reciclado no alcanzó la resistencia de  $250 \text{ kg/cm}^2$ . El hormigón con 25% de árido reciclado obtuvo similar resistencias a un hormigón convencional.

#### **4.4.- PROCESOS PARA ELABORAR HORMIGÓN CON ÁRIDOS RECICLADOS.** Prueba industrial.

Para la elaboración del hormigón con áridos reciclados se recoge el estudio realizado por: José Luis Parra, Jorge Castilla Gómez, Pilar Palacios Lancina y Lorenzo Puchol Oliver (miembros del departamento de Ingeniería de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid.) de la Universidad Politécnica de Madrid.



El objetivo de los autores es elaborar un hormigón, a escala industrial, con áridos reciclados y verificar el comportamiento y prestaciones de dicho hormigón tanto inicialmente como con el tiempo.

**Elección del árido reciclado.**- El árido reciclado les fue proporcionado por una empresa de reciclado de residuos de construcción. La fracción que utilizaron de entre todas las que ofrece la planta es la comprendida entre 0 mm y 40 mm (fracción 0-40 mm).

**Elección del árido natural.**- Los áridos que los autores utilizaron son los que normalmente se emplean en un hormigón convencional, se optó por un árido de tipo calizo, que tiene características similares al árido reciclado, puesto que los dos provienen de instalaciones de machaqueo.

**Dosificación del árido reciclado.**- La dosificación que utilizaron es en un porcentaje de árido reciclado en torno al 50%.

Para la fabricación de los hormigones los autores establecieron como parámetros el asentamiento del hormigón fresco en  $8 \pm 2$  cm, utilización de 0,45 la relación A/C, contenido de cemento 320 kg por metro cúbico, resistencia a compresión a alcanzar en 28 días 300 kg/cm<sup>2</sup>.

La consistencia del hormigón fresco, determinado por el método del cono de Abrams fue de 6 cm para el hormigón reciclado y 8 cm para el hormigón convencional.

Para realizar la prueba industrial los autores realizaron losas rectangulares de hormigón de 5.2 x 3 m de lado con un grosor de 20 cm, y columnas de sección cuadrada de 2 m de longitud y 30 cm de lado, elaborados con hormigón reciclado y hormigón convencional.

De las losas y columnas consideraron sacar testigos a intervalos de tiempo de 7, 28 y 60 días y ver su evolución.

Para realizar otros ensayos los autores tomaron muestras de hormigón fresco, con el que elaboraron probetas, con cada tipo de hormigón se construyeron 8 probetas cilíndricas de 30 X 15 cm. Estas probetas se desmoldaron y se depositaron en cámara húmeda en condiciones normalizadas para el curado del hormigón,



Los resultados de resistencia a la compresión que los autores obtuvieron para las probetas de hormigón fresco con árido reciclado fue de una diferencia de  $60 \text{ kg/cm}^2$  menor con respecto al hormigón convencional a los 7 días, de  $45 \text{ kg/cm}^2$  menor con respecto al hormigón convencional a los 28 días y de  $40 \text{ kg/cm}^2$  menor con respecto al hormigón convencional a los 60 días.

El comportamiento de las probetas que los autores obtuvieron como resultado, tiene una variación de aumento de resistencia con el tiempo, acortando diferencias con respecto al hormigón convencional.

Para las probetas de testigo realizaron las comparaciones a los 28 días de las vigas, columnas y hormigón convencional, tuvieron una diferencia entre el convencional y reciclado losa de  $18 \text{ kg/cm}^2$ , entre el convencional y reciclado columna de  $34 \text{ kg/cm}^2$ , la diferencia entre losa y columna fue de  $36 \text{ kg/cm}^2$ .

Los resultados a los 60 días de las vigas, columnas y hormigón convencional, tuvieron una diferencia entre el convencional y reciclado losa de  $33 \text{ kg/cm}^2$ , entre el convencional y reciclado columna de  $29 \text{ kg/cm}^2$ , la diferencia en este caso de columna y losa fue de  $4 \text{ kg/cm}^2$ .

El comportamiento de los testigos obtenido como resultado de los ensayos realizados por los autores tiene diferencias significativas al transcurrir el tiempo, ya que las vigas y columnas se comportan diferentes a los 28 y 60 días.

#### **4.5.- PROPIEDADES MECÁNICAS DE BLOQUES DE HORMIGÓN COMPUESTOS CON ÁRIDOS RECICLADOS**

Para establecer las propiedades mecánicas de los bloques de hormigón elaborado con áridos reciclados se recoge el estudio realizado por: Gonzalo A. Valdés y Jorge G. Rapimán (profesores representantes del departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de la Frontera, Francisco Salazar N° 01145, Temuco-Chile).

Este estudio se basa en mostrar una técnica para la confección de bloques prefabricados de hormigón utilizando árido reciclado proveniente de demoliciones de pavimentos.



## MATERIALES

**Cemento, áridos naturales y áridos reciclados.**- El material cementicio utilizado por los autores correspondió a un cemento de alta resistencia inicial elaborado sobre la base de clinker, escoria básica granulada de alto horno y yeso. Se clasifica según su composición y resistencia como cemento Portland siderúrgico, grado de alta resistencia. Se clasifica como Slag Modified Portland Cement.

El árido natural utilizado por los autores, fino y grueso, corresponde a un material procesado, obtenido de lechos y ribera de cauces naturales, compuestos principalmente por partículas de dolomita, basalto, dacitas, andesitas, riolitas, arenisca, cuarzo y cuarcita. El tamaño máximo nominal del árido grueso que utilizaron en este estudio fue de 12.5 mm.

El árido reciclado utilizado por los autores se obtuvo de residuos de estructuras hormigón, principalmente de demoliciones de pavimentos. Las estructuras de hormigón desechadas fueron pretrituradas en laboratorio con un martillo neumático con la finalidad de disminuir su tamaño a trozos de 10", posteriormente los trozos de hormigón se procesaron en una planta chancadora de mandíbulas y se seleccionaron por medio de tamices, obteniéndose un material de tamaño máximo nominal de 3", en donde los autores realizaron una selección en 12,5 mm, tamaño máximo utilizado en este estudio. Se consideró solo la fracción gruesa del árido reciclado dentro de la mezcla utilizada.

## PRUEBAS DE LABORATORIO

**Dosificaciones.**- Los autores elaboraron dos tipos de mezclas para los bloques compuestos con árido grueso reciclados y árido fino natural, ambos fueron diseñadas para obtener una resistencia a la compresión de 150 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, un tamaño máximo de árido 12.5 mm y asentamiento igual a 0 cm.

**Fabricación de los bloques de hormigón.**- El bloque escogido por los autores para someterlo a este estudio es el de 140 ± 3 mm de ancho, 190 ± 3 mm de alto y 390 ± 3 mm de largo. El cemento y los áridos los mezclaron en seco, hasta que adquirieron un color uniforme. Luego añadieron agua y el conjunto se mezcló durante 1,5 minutos en la mezcladora mecánica. Posteriormente, la mezcla obtenida la



introdujeron en un molde metálico para luego ser compactada en una mesa vibradora, con una frecuencia de 3.000 r.p.m.. Una vez que comenzaba a aparecer el agua en la cara superior de la mezcla procedieron a desmoldar cada uno de los bloques confeccionados.

Los bloques ya desmoldados curaron en una sala a temperatura ambiente durante 6 horas, luego ingresaron a un sala de curado a vapor, a una temperatura promedio de 20°C, por 14 días. El proceso de curado finalizaron en una sala a temperatura ambiente hasta los 28 días.

Ensayos realizados.- Los ensayos que realizaron los autores a los bloques de hormigón conducen a determinar la calidad de los bloques destinados a construcciones por medio de la verificación de su resistencia mecánica a la compresión, absorción máxima de agua y contenido de humedad. Los ensayos a compresión de los bloques realizaron con una prensa de capacidad de carga máxima de 3000 KN. Obtuvieron el promedio de 5 bloques por cada tipo de mezcla, los cuales ensayaron a los 7, 14 y 28 días.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Las resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días de los bloques elaborados con árido natural, obtuvieron un promedio superior a los 45 kg/cm<sup>2</sup>, además existió una disminución de resistencia a la compresión de un 15 % en los bloques confeccionados con árido reciclado bajo las mismas condiciones que los bloques confeccionados completamente por áridos naturales.

Otros estudios llegaron a conclusiones similares en probetas de hormigón, utilizando diferentes porcentajes de adiciones del 0, 30, 50, 70 y 100% de árido reciclado en hormigones de prueba y obtuvieron una baja en los esfuerzos de compresión a medida que aumentaban los porcentajes de agregados reciclados. Concluyendo que las resistencias a la compresión del hormigón decrecen hasta un 10 % en función del aumento de agregados reciclados en la mezcla de hormigón.

El estudio como análisis muestra una técnica desarrollada para la producción de bloques de hormigón con áridos reciclados. Las pruebas de laboratorio que realizaron, a los bloques de hormigón compuestos



por áridos reciclados, demuestran la factibilidad técnica de que bloques de hormigón diseñados y confeccionados con estos áridos pueden ser utilizados según criterio de los autores como elementos constructivos.



Imagen 24.-

Ubicación del lugar donde se obtuvo los residuos.

## CAPITULO 5.- DESARROLLO Y ELABORACIÓN DE MUESTRAS DEL CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS UTILIZANDO DIFERENTES DOSIFICACIONES SEGÚN LA SUSTITUCIÓN DEL ÁRIDO NATURAL POR EL ÁRIDO RECICLADO.

### 5.1 SELECCIÓN DE LOS RESIDUOS TRITURADOS PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO.

Los residuos que se utilizaron fueron los resultantes de una ruptura de una vía elaborada con concreto, la resistencia para la cual fue diseñada y ejecutada en obra fue de 300kg/cm<sup>2</sup>.

Esta vía fue construida en el mes de noviembre de 2010, para un proyecto de vivienda ubicado en la calle Cuzco y av 24 de mayo. Ver imagen 32.

El concreto que se utilizó en la fabricación de la vía fue premezclado cuya característica del cemento y áridos son los siguientes:

**Cemento.-** Tiene una mezcla de cemento portland tipo I y puzolanas naturales, en una proporción que varía de 15% al 40%. Básicamente es de color grisáceo finamente pulverizado que está constituido por óxidos metálicos de:

- Óxido de Magnesio 0% - 5%
- Óxido de Aluminio 3% - 8%



- Oxido de Hierro                    1% - 5%
- Oxido de Sílice                    19% - 25%
- Oxido de Calcio                    60% - 66%
- Trióxido de Azufre                1% - 3%

Entre los materiales puzolanicos que comúnmente se encuentran son:

- Ceniza volcánica
- Pumicita
- Arcillas quemadas
- Cenizas volantes
- Esquistos de opalina.

La puzolana adherida al cemento en el proceso de hidratación liga químicamente el hidróxido de calcio que es soluble en el agua y que se desprende durante el endurecimiento del cemento portland.

En la tabla #17 se muestra la composición química del cemento aplicado en el concreto premezclado con el cual se construyó la vía, mientras que en la tabla #18 se detallan las características físicas del mismo cemento<sup>48</sup>.

### COMPOSICION QUIMICA DEL CEMENTO

TABLA #17

SiO <sub>2</sub>	28,40%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,90%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,60%
CaO	52,70%

### CARACTERISTICAS FISICAS DEL CEMENTO

TABLA #18

RESISTENCIAS	1 día	96kg/cm <sup>2</sup>
	3 días	206kg/cm <sup>2</sup>
	7 días	268kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	360kg/cm <sup>2</sup>
BLAINE	442m <sup>2</sup> /kg	
RETENIDO TAMIZ #325	12,60%	
FRAGUADO INICIAL	220min	
PERDIDA AL FUEGO	4,30%	

<sup>48</sup> DISENSA cementos & agregados rocafuerte.



Imagen 25.-  
Control en descarga de áridos..



Imagen 26.-  
Segmentos del concreto a triturar..

**Agregados.-** El agregado grueso utilizado en el concreto premezclado es una roca caliza triturada compacta, de forma cúbica angular. Tiene las siguientes propiedades físicas:

- Masa Unitaria 1384Kg/m<sup>3</sup>
- Densidad 2430Kg/m<sup>3</sup>
- Absorción 2%
- Desgaste 22%

El agregado fino utilizado en el concreto premezclado es un material pétreo extraído del río que cumple con la norma ASTM C-33. Es un árido lavado de toda impureza y en el cual encontramos las siguientes propiedades físicas:

- Masa Unitaria 1580Kg/m<sup>3</sup>
- Densidad 2600Kg/m<sup>3</sup>
- Absorción 3%
- Desgaste 24%
- Módulo de finura 2,30 +- 0,10

Los agregados tiene un control riguroso al momento de almacenar y posterior producción del concreto. Ver imagen #33

**Aditivo.-** El aditivo utilizado en el concreto premezclado es un plastificante reductor de agua de alto rango en base a policarboxilatos. Es una sustancia química que modifica las propiedades de fluidez del concreto fresco, tales como la trabajabilidad, la relación agua/cemento, el fraguado, etc.

**Condiciones del concreto a triturar.-** El concreto se encontró en condiciones muy aceptables para poder utilizarlo, no presento ningún tipo de agresión y por el contrario debido a su poca vida de uso el concreto se encontraba en excelentes condiciones. Al tratarse de un concreto que de una vía, su elaboración tubo que pasar por estrictas pruebas de calidad como son las siguientes:

- Control de los componentes del concreto
- Control de la fabricación del concreto
- Control de la puesta en obra
- Control de la unidad de obra terminada



**Trituración del concreto reciclado.-** La producción de áridos reciclados se realiza de forma similar al proceso que se emplea para producir áridos naturales machacados. La planta que se empleó para dicha finalidad incorpora diferentes equipos para eliminar los residuos no deseados.

Debido al origen del concreto no hubo la necesidad de separar elementos perjudiciales como madera, cartón, plásticos, etc., de los áridos reciclados que se desean obtener. De forma resumida el proceso de trituración se puede describir a través de las siguientes operaciones:

1.- Los residuos de concreto llegan a la planta descargándose en el suelo. Los bloques mayores de hormigón se reducen con un martillo hasta conseguir el tamaño adecuado.

2.- Antes de triturar el material se realiza una pre selección de tamaño del mismo, con el fin de realizar un control separando los más pequeños, para aprovecharlos directamente, de aquellos cuyo tamaño es mayor. Dicho sistema consta de una selección de tamaño normal 160 mm dispuesta aleatoriamente con otras cuyos tamaños habituales son 80mm y 40mm. Los rechazos en las dos primeras alimentan la trituradora.

3.- La trituración consta, de mandíbulas que realizan el trabajo de romper y machacar los pedazos de concreto.

4.- Por intermedio de una retroexcavadora se realiza el transporte de los residuos de hormigón desde el lugar que fueron depositados hasta la trituradora (ver imagen 27). Dicha trituradora rompe los bloques a través de la acción de una machacadora de mandíbulas mediante esfuerzos de compresión y cizalladura. Admite tamaños hasta de 500 mm.

Esta planta (ver imagen 28) incorpora una tecnología similar a la de las plantas de producción de áridos naturales aunque incorporan sistemas para la eliminación de impurezas y contaminantes. Su capacidad productiva es, por lo general, superior a las plantas móviles<sup>49</sup>.



Imagen 27.-  
Transporte de los residuos de hormigón



Imagen 28.-  
Principios de trituración del concreto reciclado

<sup>49</sup> GOMEZ, J.M.V., VAZQUEZ, E., AGULLÓ, L.: "Hormigón con áridos reciclados. Una guía de diseño para el material". Monografía CIMNE. N° 60. Mayo 2001.



### 5.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO RECICLADO A UTILIZAR:



Imagen 29.-  
Forma del concreto triturado.

**Granulometría.-** Los áridos reciclados presentan formas angulosas debido al proceso de machaqueo y un aspecto rugoso como consecuencia del mortero adherido a ellos. Ver imagen 29.

La granulometría del árido reciclado se ha realizado mediante tamizado, en la imagen 30 se observa la tamizadora de laboratorio utilizada.

En la tabla #19 se muestran los resultados del análisis granulométrico del agregado grueso reciclado, este análisis se realizó considerando hasta el tamiz número 200, debido a que aproximadamente el 20% del material se refiere a finos y estos son indispensables en el momento de realizar el diseño de mezcla del concreto.

#### ANÁLISIS GRANULOMETRICO ARIDO GRUESO RECICLADO

TABLA #19

TAMIZ		RECICLADO		
Nº	mm	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	% Pasa
3"	76,200	0,00	0,00	100,00
2 1/2"	63,500	0,00	0,00	100,00
2"	50,800	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	1177,00	16,03	83,97
3/4"	19,050	1923,00	26,19	73,81
1/2"	12,700	3593,00	48,94	51,06
3/8"	9,525	4328,00	58,95	41,05
#4	4,763	5792,00	78,89	21,11
#8	2,381	6324,89	86,15	13,85
#16	1,191	6775,01	92,28	7,72
#30	0,595	6994,49	95,27	4,73
#50	0,298	7107,33	96,80	3,20
#100	0,149	7173,36	97,70	2,30
#200	0,074	7210,87	98,21	1,79



Imagen 30.-  
Tamizadora utilizada.

Peso total antes del ensayo 7,342 Kg.  
Peso total despues del ensayo 7,342 Kg.

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



**Humedad.-** La humedad del árido reciclado se relaciona directamente con la capacidad de absorción y se tuvo que determinar esta propiedad debido a que causará variaciones en las mezclas, ya que los áridos reciclados en los depósitos de almacenamiento encuentran expuestos a agentes externos de humedad, tales como la lluvia.

Para este árido reciclado existe cuatro estados de humedad que dependen del grado de contenido de agua, estos son:

- Totalmente seco: El árido es completamente seco y absorbente.
- Seco: El árido presenta una superficie seca pero en su interior posee humedad y a pesar de ello continúa en estado absorbente.
- Saturado y superficie seca: En este estado el árido no cede ni absorbe agua.
- Húmedo: Estado en el cual el árido posee humedad visible en la superficie.

Para realizar el ensayo se considero el árido reciclado totalmente seco, debido a que dicho material se expuso a secado en horno a temperaturas promedio a 100°C, con relación al árido reciclado expuesto a los agentes del ambiente.

En consecuencia el contenido de humedad del árido reciclado se determino en base a la siguiente expresión:

$$p = 100 \times \frac{(W - D)}{D}$$

En donde:

- p = Contenido de humedad del árido en %.  
 W = Peso de la muestra húmeda en gr.  
 D = Peso de la muestra seca al horno en gr.

$$p = 100 \times \frac{(963,6 - 950,06)}{950,06}$$

Humedad igual a 1,42%



Imagen 31.-  
Árido grueso reciclado expuesto a los agentes medioambientales



Imagen 32.-  
Pseo del árido grueso reciclado.

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



Imagen 33.-

Proceso de saturación de humedad del árido reciclado.

**Absorción,-** El árido reciclado presenta poros en la superficie y en su interior, debido al proceso de trituración y a la pasta de cemento adherida, estos facilitan el ingreso de humedad en donde la cantidad y velocidad de penetración dependen de las características de los poros tales como su continuidad, dimensión y volumen.

La absorción del árido reciclado pasa por la capacidad de adquirir agua o humedad a través de sus poros y esto fue determinado en base al porcentaje de peso perdido luego de ser secado por completo en un horno.

Es preciso tomar en cuenta el estado del árido reciclado una vez que se lo utilice, ya que el agua contenida llega a producir alteraciones en las mezclas debido a su alta porosidad. El valor de absorción se determina en base a la siguiente expresión:

$$p = 100 \times \frac{(B - A)}{A}$$

En donde:

p = Contenido de humedad del árido en %.

B = Peso de la muestra saturada de humedad en gr.

A = Peso de la muestra seca al horno en gr.

La absorción del árido grueso reciclado se determinó tomando una muestra de 1,5 kg del árido en cuestión. Se sumergió en agua dentro del laboratorio durante 24 horas. A continuación se pesa dicha muestra secando con un paño absorbente la superficie hasta eliminar los brillos de humedad, por último, se seca en el horno a una temperatura de aproximadamente 100°C y se vuelve a pesar.

$$p = 100 \times \frac{(1578,52 - 1471,26)}{1471,26}$$

Absorción igual a 7,29%



Imagen 34.-

Peso del árido grueso reciclado saturado de humedad.

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



**Peso Volumétrico.-** La densidad se midió a través de la cantidad de árido reciclado requerida en masa para llenar un recipiente con un volumen unitario específico. Para ello lo ideal es que todas sus partículas presenten una forma esférica o cúbica para lograr obtener valores de densidad grandes o elevados que favorecen la gradación del árido y puede llegar a disminuir el porcentaje de vacíos. Su valor se determina a partir de la siguiente expresión:

$$D = \frac{(M - N)}{V}$$

En donde:

D = Peso volumétrico en kg/m<sup>3</sup>

M = Peso del árido reciclado más el recipiente en kg.

N = Peso del recipiente en Kg.

V= Volumen del recipiente en m<sup>3</sup>.

El peso volumétrico del árido grueso reciclado se determino tomando una muestra de 4,5 kg, la cual se procedió a pesar con el recipiente. A continuación se realiza el peso únicamente del recipiente. Por último, se calculo el volumen del recipiente de ensayo, en la imagen 35 se puede observar el llenado del recipiente empleado para realizar los pesos con el árido reciclado.

$$M = \frac{(12,699 - 0,548)}{0,009}$$

Densidad igual a 1359,50kg/m<sup>3</sup>



Imagen 35.-

Colocación del árido grueso reciclado saturado en el recipiente



Imagen 36.-

Peso del árido grueso reciclado con el recipiente.

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



Imagen 37.-  
Peso del árido grueso reciclado seco.

**Peso Especifico.-** Es la relación entre el peso del árido reciclado y el peso del agua con el mismo volumen absoluto, su valor se determinó con el árido en estado seco.

Es recomendable que un árido presente una masa específica relativa de entre 2.4 a 2.9 como valores óptimos ya que de no ser el caso se tendrá un material con deterioro considerable<sup>46</sup>.

La fórmula para determinar su valor es:

$$E = \frac{A}{(A - C)}$$

En donde:

E = Peso específico.

A = Peso del árido reciclado seco al horno.

C = Peso aparente del árido reciclado sumergido en agua.

El peso específico del árido grueso reciclado se determinó tomando una muestra de 5kg aproximadamente, la cual se procedió a secar en el horno a una temperatura promedio de 100°C. A continuación se realiza el peso del volumen absoluto igual de agua que contiene el árido reciclado.

$$E = \frac{5000}{5000 - 2874}$$

Peso específico igual a 2,352



### 5.3 AJUSTE DE LAS GRANULOMETRIAS DE LOS DIFERENTES AGREGADOS:

La granulometría controla muchas propiedades de la mezcla como son las siguientes:

- Trabajabilidad
- Resistencia
- Durabilidad

En la tabla #20 se muestran los resultados del análisis granulométrico del agregado grueso natural y del agregado grueso reciclado, en donde se puede evidenciar dos granulometrías diferentes y del mismo modo serán las mezclas y sus propiedades, por tal motivo las dos no se pueden comparar teniendo que realizar un ajuste.

#### ANÁLISIS GRANULOMETRICO ARIDO GRUESO NATURAL Y ARIDO GRUESO RECICLADO.

TABLA #20

	NATURAL			RECICLADO		
	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	% Pasa	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	% Pasa
3"						
2 1/2"	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
2"	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1"	1615,00	20,54	79,46	1177,00	16,03	83,97
3/4"	3570,00	45,41	54,59	1923,00	26,19	73,81
1/2"	6144,00	78,15	21,85	3593,00	48,94	51,06
3/8"	6955,00	88,46	11,54	4328,00	58,95	41,05
#4	7785,00	99,02	0,98	5792,00	78,89	21,11
#8	7794,10	99,14	0,86	6324,89	86,15	13,85
#16	7809,75	99,34	0,66	6775,01	92,28	7,72
#30	7828,87	99,58	0,42	6994,49	95,27	4,73
#50	7841,59	99,74	0,26	7107,33	96,80	3,20
#100	7856,16	99,93	0,07	7173,36	97,70	2,30
#200	7858,92	99,96	0,04	7210,87	98,21	1,79
P.A.E.	7862,00	100,00	0,00	7342,00	100,00	0,00



Imagen 38.- Colocación del árido reciclado en el tamiz.

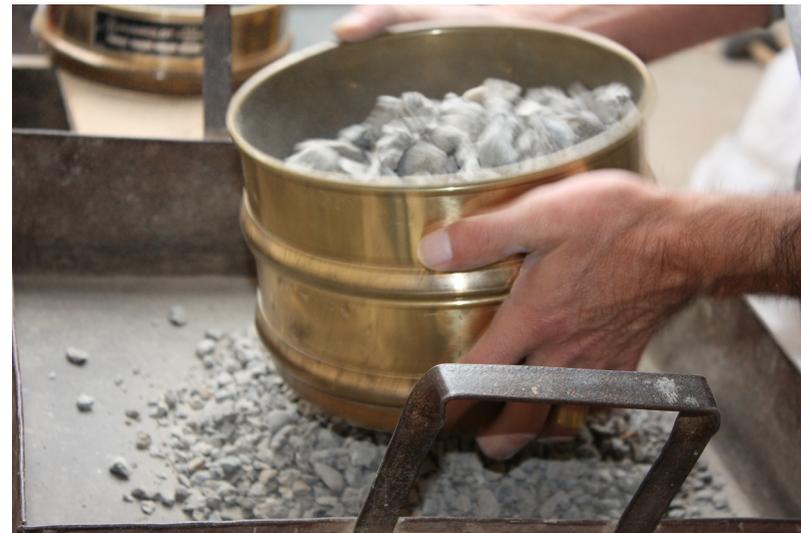
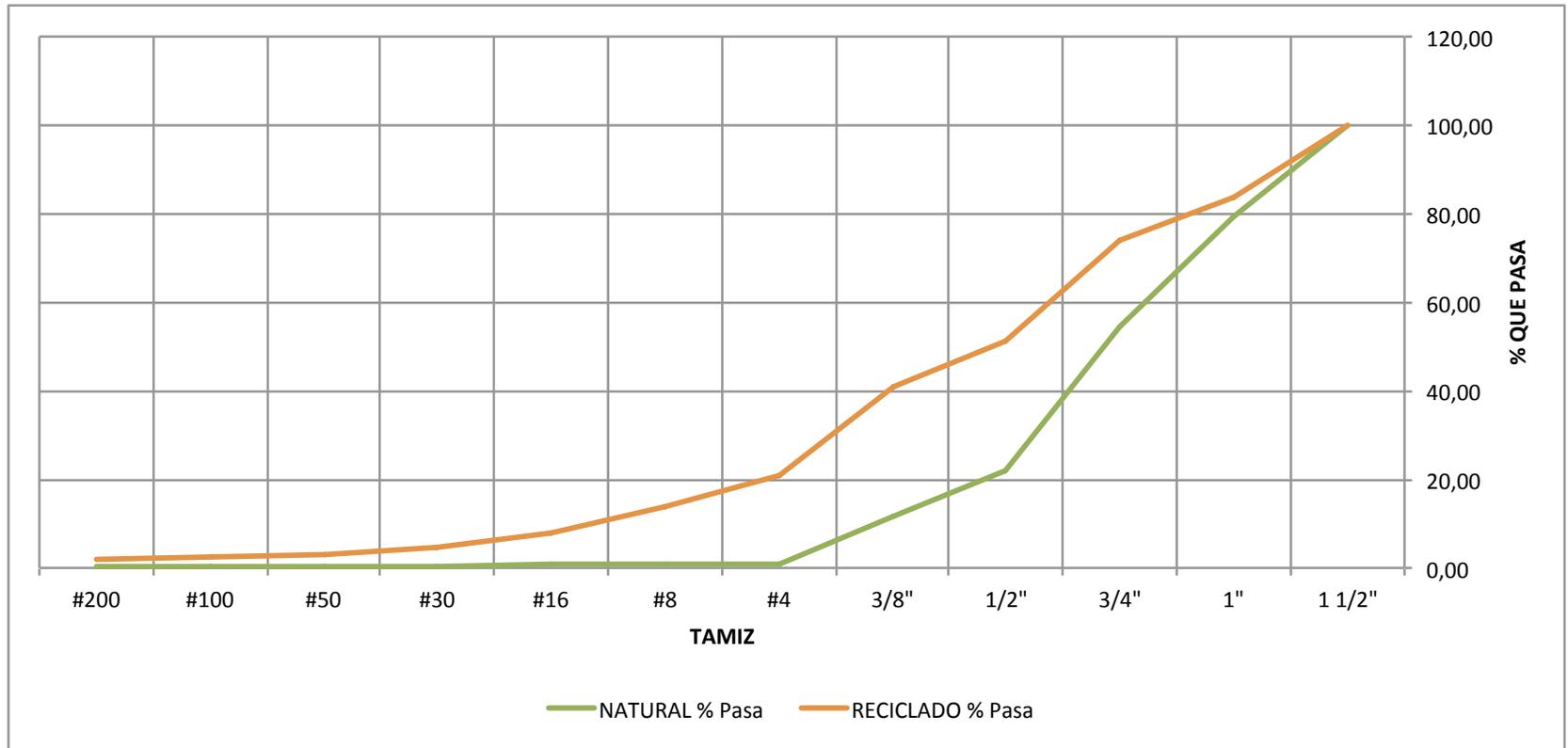


Imagen 39.- Peso del árido grueso reciclado seco.

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



Gráfico #4



En el gráfico #4 se puede observar la variación que existe en la granulometría de los dos tipos de áridos, estos van a contener un mismo tipo de árido fino natural, (ver tabla #21) al momento de preparar las mezclas, es entre estos áridos donde se realizara el ajuste, llegando a tener una “granulometría ideal”, el cual consiste en combinar los agregados de tal forma, que la granulometría del conjunto llegue a obtener una máxima densidad, teniendo cuidado en no caer en problemas de trabajabilidad<sup>50</sup>.

Se debe tener en cuenta que los factores principales que rigen en una granulometría compacta de los agregados son: la superficie del agregado, que determina la cantidad de agua necesaria para humedecer

<sup>50</sup> SANCHEZ DE GUZMAN, diego. Tecnología del concreto y del mortero. Universidad Javeriana Facultad de Ingeniería. Bogotá. 1987.



todos los cuerpos sólidos; el volumen relativo ocupado por el agregado; la trabajabilidad de la mezcla; la tendencia a la segregación<sup>46</sup>.

### ANÁLISIS GRANULOMETRICO ARIDO FINO NATURAL.

TABLA #21

TAMIZ		ARIDO FINO		
No.	mm.	Peso retenido acumulado	% Retenido	% Pasa
1"	25,400	0,0	0	100
3/4"	19,050	0,0	0	100
1/2"	12,700	10,0	0	100
3/8"	9,525	31,0	0	100
No. 4	4,763	428,0	7	93
No. 8	2,381	61,1	19	81
No. 16	1,191	156,7	37	63
No. 30	0,595	271,9	60	40
No. 50	0,298	377,9	80	20
No. 100	0,149	444,9	93	7
No. 200	0,074	463,4	97	3

Peso total antes del ensayo 0,4786 Kg.

Peso total después del ensayo 0,4786 Kg

### ANÁLISIS COMPARATIVO DE GRANULOMETRIAS DEL ARIDO GRUESO NATURAL CON EL ARIDO FINO NATURAL.

TABLA #22

No	mm	Arido Grueso Natural	Arido Fino Natural
1 1/2	37,5	100	100
1	25,4	79,46	100
3/4	19,05	54,6	100
1/2	12,7	21,9	100,0
3/8	9,51	11,5	100,0
No. 4	4,76	1,0	93,0
No. 8	2,38	0,9	81,0
No. 16	1,19	0,7	63,0
No. 30	0,595	0,4	40,0
No. 50	0,297	0,3	20,0
No. 100	0,149	0,1	7,0

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



En la tabla #22 se puede observar la comparación granulométrica de los áridos gruesos y finos naturales, mientras que la tabla #55 muestra el ajuste realizado de los áridos, en donde lo importante es obtener una granulometría tal que la manejabilidad de la mezcla sea adecuada con la menor cantidad de pasta posible.

El ajuste a las granulometrías se obtuvo con un 55% de árido grueso natural y un 45% de árido fino natural, esto se logro mediante la comparación del total de porcentaje que pasa de los áridos gruesos y finos de los distintos tamices con respecto al limite establecido. Este limite se obtuvo de granulometrías continuas experimentales apropiadas para distintos tamaños máximos, según la ecuación siguiente:

$$\text{Limite} = 100x(d/D)^a$$

El valor<sup>a</sup> es de 0,45 este valor es establecido de acuerdo a la experiencia teórica y práctica (en el medio colombiano), el valor d viene dado por la dimensión del tamiz referente al limite y el valor D por la dimensión del tamiz mas grande en relación al resto de la gradación<sup>47</sup>.

Esta comparación (ver gráfico #5) confirma la menor diferencia posible que debe existir entre el total y el limite con respecto a los porcentajes de cada uno de los áridos que se estableció para generar una granulometría que será lo más similar posible a la del árido grueso reciclado y el árido fino natural.

**AJUSTE DE GRANULOMETRIAS DEL ARIDO GRUESO NATURAL CON EL ARIDO FINO NATURAL.**

Gráfico #5

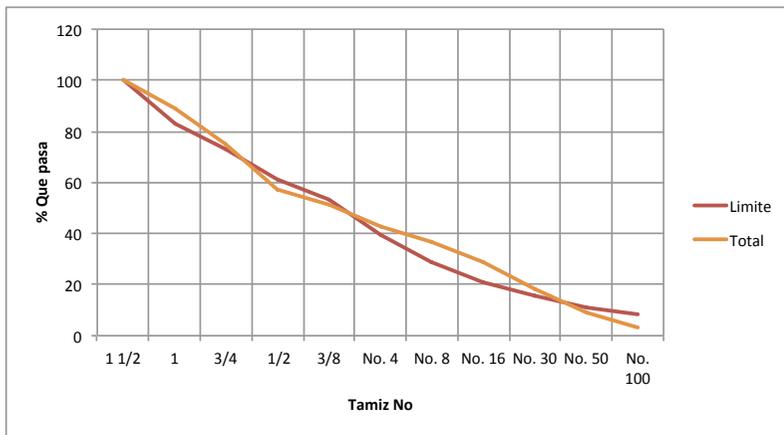


TABLA #23

Tamiz No	mm	Limite	55,0%	45%	Total	Diferencia de Limite y Total
			Arido Grueso Natural	Arido Fino Natural		
1 1/2	38,1	100	55	45	100	0
1	25,4	83	44	45	89	5
3/4	19,05	73	30	45	75	2
1/2	12,7	61	12	45	57	-4
3/8	9,51	54	6	45	51	-2
No. 4	4,76	39	1	42	42	3
No. 8	2,38	29	0	36	37	8
No. 16	1,19	21	0	28	29	8
No. 30	0,595	15	0	18	18	3
No. 50	0,297	11	0	9	9	-2
No. 100	0,149	8	0	3	3	-5

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



### ANÁLISIS COMPARATIVO DE GRANULOMETRIAS DEL ARIDO GRUESO RECICLADO CON EL ARIDO FINO NATURAL.

TABLA #24

Tamiz No	mm	Arido Gueso Reciclado	Arido Fino Natural
1 1/2	37,5	100	100
1	25,4	84	100
3/4	19,05	74	100
1/2	12,7	51	100,0
3/8	9,51	41	100,0
No. 4	4,76	21	93,0
No. 8	2,38	14	81,0
No. 16	1,19	8	63,0
No. 30	0,595	5	40,0
No. 50	0,297	3	20,0
No. 100	0,149	2	7,0

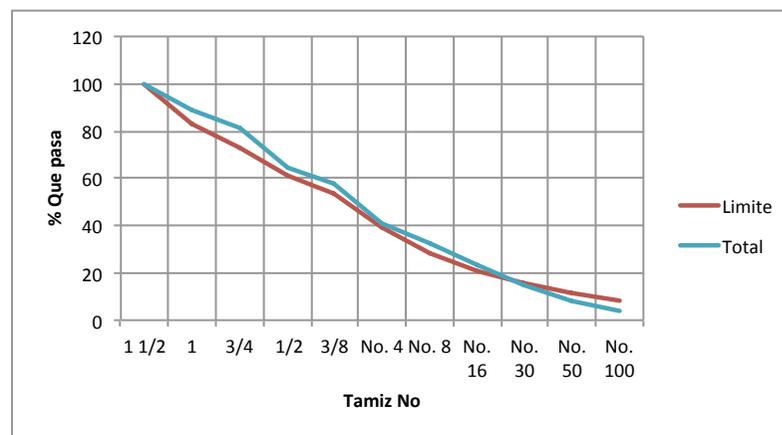
En la tabla #25 y gráfico #6 se puede observar el ajuste realizado a las granulometrías del árido grueso reciclado y el árido fino natural. El ajuste a las granulometrías se obtuvo con un 72% de árido grueso reciclado y un 28% de árido fino natural, esto se logro mediante las consideraciones de la tabla #23.

### AJUSTE DE GRANULOMETRIAS DEL ARIDO GRUESO RECICLADO CON EL ARIDO FINO NATURAL.

TABLA #25

Tamiz No	mm	Limite	72%	28%	Total	Diferencia de Limite y Total
			Arido Gueso Reciclado	Arido Fino Natural		
1 1/2	38,1	100	72	28	100	0
1	25,4	83	60	28	88	5
3/4	19,05	73	53	28	81	8
1/2	12,7	61	37	28	65	4
3/8	9,51	54	30	28	58	4
No. 4	4,76	39	15	26	41	2
No. 8	2,38	29	10	23	33	4
No. 16	1,19	21	6	18	23	2
No. 30	0,595	15	3	11	15	-1
No. 50	0,297	11	2	6	8	-3
No. 100	0,149	8	2	2	4	-5

Gráfico #6



AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



Imagen 40.-  
Mezclado del concreto.

Los ajustes confirman que la comparación que se realizará a los concretos con áridos gruesos naturales con respecto a los de áridos gruesos reciclados, se lo hará de forma adecuada, ya que cada uno de los concretos contendrá una misma relación de agregados gruesos y finos con respecto a sus granulometrías.

#### **5.4 ELABORACIÓN DE DIFERENTES DOSIFICACIONES SEGÚN LA SUSTITUCIÓN DEL ÁRIDO NATURAL POR EL ÁRIDO RECICLADO, LA SUSTITUCIÓN SE REALIZARA EN: 20% - 40% - 60% - 80% - 100%. PARA ALCANZAR LA RESISTENCIA DE 210Kg/cm<sup>2</sup>.**

**Diseño de las mezclas de concreto.-** Son muchos factores y consideraciones (propiedades del cemento, calidad del agua, propiedades de los agregados y características de los aditivos) que se deben tomar en cuenta para diseñar una mezcla de concreto.

Previo a conocer los procesos de diseño hay que tener presente algo importante en el diseño de mezclas que cita el autor Phd Ing. Diego Sánchez de Guzmán “Se tiene que tener presente que un diseño, en el sentido estricto de la palabra, no es posible, debido a que los materiales son esencialmente variables y muchas de sus propiedades no pueden ser tasadas con exactitud en forma cuantitativa”<sup>47</sup>. Es por esta razón que el procedimiento de diseño de mezclas, se basa en el método de “ensayo y error”, de acuerdo a los pasos siguientes:

1. Selección del asentamiento.
2. Selección del tamaño máximo del árido grueso.
3. Estimación del contenido de aire.
4. Estimación del contenido de agua de mezclado.
5. Determinación de la resistencia de diseño.
6. Selección de la relación agua/cemento.
7. Cálculo del contenido de cemento.
8. Estimación de las proporciones de áridos.
9. Ajuste por humedad de los áridos.
10. Ajuste a las mezclas de prueba.

Hay que considerar que el diseño de los concretos se realizará con intervalos de remplazo del árido reciclado por el natural de 20% - 40% - 60% - 80% - 100%, para poder ir determinando su comportamiento



según su sustitución.

Para cada uno de los diseños se consideran los mismos datos obtenidos de los procesos a seguir, a excepción de la estimación de las proporciones de áridos y de los ajustes por humedad.

Selección del asentamiento.- El valor de asentamiento que se considero para la fabricación de este concreto que tendrá intervalos de sustitución con árido grueso reciclado según su consistencia es de 100mm +-2.

Selección del tamaño máximo del árido grueso .- Para la selección se utilizó la tabla según el tipo de construcción según lo que recomienda el autor Phd. Ing. Diego Sánchez de Guzmán, para este caso en particular no se considera las condiciones de refuerzo del concreto, ya que se trata de un caso experimental de producción de concreto con áridos gruesos reciclados. Se estableció como aplicabilidad un muro de sección variable de 19 - 29cm, teniendo como resultado un tamaño máximo de agregado de 2" (50,8mm) en muros sin refuerzo, tal como muestra la tabla #26.

### TAMAÑOS MAXIMOS DE ARIDOS GRUESOS SEGUN EL TIPO DE CONSTRUCCION.

TABLA #26

Dimension Minima de la seccion (cm)	Tamaño maximo en pulg.(mm)			
	Muros reforzados vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6 - 15	1/2"(12)-3/4"(19)	3/4"(19)	3/4"(19)-1"(25)	3/4"(19)-1"(38)
19 - 29	3/4"(19)-1 1/2"(38)	1 1/2"(38)-2"(50)	1 1/2"(38)	1 1/2"(38)-3"(76)
30 - 74	1 1/2"(38)-3"(76)	3"(76)	1 1/2"(38)-3"(76)	3"(76)
75 o mas	1 1/2"(38)-3"(76)	6"(152)	1 1/2"(38)-3"(76)	3"(76)-6"(152)



Estimación del contenido de aire.- El valor del contenido de aire se referirá al que queda naturalmente atrapado dentro del concreto, de acuerdo a la tabla #27, con relación al tamaño máximo de árido grueso se obtuvo el valor del 0,5% de aire atrapado naturalmente por volumen.

**CANTIDAD APROXIMADA DE AIRE ATRAPADO PARA DIFERENTES TAMAÑOS MAXIMOS DE ÁRIDOS GRUESOS.**

TABLA #27

Tamaño máximo nominal del árido mm            pulg.		Contenido del aire en porcentaje (por volumen)			
		Naturalmente atrapado	Exposición Ligera	Exposición moderada	Exposición severa
9,5	3/4	3,0	4,5	6,0	7,5
12,7	1/2	2,5	4,0	5,5	7,0
19,0	3/4	2,0	3,5	5,0	6,0
25,4	1	1,5	3,0	4,5	6,0
38,1	1 1/2	1,0	2,5	4,5	5,5
50,8	2	0,5	2,0	4,0	5,0
76,1	3	0,3	1,5	3,5	4,5
152,0	6	0,2	1,0	3,0	4,0

Estimación del contenido de agua de mezclado.- La cantidad de agua de mezclado por volumen unitario de concreto, que se requiere para producir un asentamiento determinado, depende del requerimiento de agua del cemento y del requerimiento de agua del árido grueso, así como del contenido de aire<sup>47</sup>. El valor del contenido de agua es de 168lt, la cual se obtuvo mediante la tabla #28, en donde el contenido de agua depende el asentamiento y del tamaño máximo del árido grueso.

**REQUERIMIENTO APROXIMADO DE AGUA DE MEZCLADO.**

TABLA #28

Asentamiento mm            pulg.		Tamaño máximo del árido, en mm(pulg.)								
		10 3/8"	12,5 1/2"	19 3/4"	25 3/4"	38,1 1 1/2"	50 2"	63,5 1/2"	2	75 3"
		Agua de mezclado, en kg/m <sup>3</sup> de concreto								
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132	
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138	
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144	
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148	
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151	
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153	
150	6	251	230	214	200	187	176	165	157	
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163	
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168	



Determinación de la resistencia de diseño.- El concreto según el autor Diego Sánchez de Guzmán, debe diseñarse y producirse para asegurar una resistencia a la compresión promedio ( $f'_{cr}$ ) lo suficientemente alta para minimizar la frecuencia de resultados de pruebas de resistencias por debajo del valor de la resistencia a la compresión especificada del concreto ( $f'_c$ ).

La resistencia a la compresión especificada del concreto la cual se utiliza en esta investigación es de  $f'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , y para llegar a establecer la resistencia a la compresión promedio, se utilizó la tabla #29, la cual determinó el valor de  $f'_c+86\text{kg/cm}^2$ .

### RESISTENCIA REQUERIDA DE DISEÑO CUANDO NO HAY DATOS QUE PERMITAN DETERMINAR LA DESVIACION ESTANDAR.

TABLA #29

Referencia especificada $P_c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Resistencia de diseño de la mezcla $P_{cr}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )
menos de $210 \text{ kg/cm}^2$	$P_c + 70 \text{ kg/cm}^2$
de $210 \text{ Kg/cm}^2$ a $350 \text{ kg/cm}^2$	$P_c + 86\text{kg/cm}^2$
Mas de $350 \text{ kg/cm}^2$	$P_c + 100 \text{ kg/cm}^2$

Selección de la relación agua/cemento.- Es importante conocer la correspondencia entre la resistencia del concreto y relación agua/cemento, para cada grupo de materiales en particular y para diferentes edades, debido a que la resistencia del concreto se rige principalmente por la resistencia e interacción de sus fases constituyentes: pasta, agregado e interfaces de adherencia pasta-agregado, es común que los diferentes agregados y cementos produzcan resistencias distintas con la misma relación agua-cemento<sup>47</sup>.

Para este caso en particular de investigación se tiene que considerar la utilización de cemento portland tipo 1 para lo cual la relación de agua/cemento se obtuvo mediante la tabla #30, en donde según la resistencia a la compresión promedio, se obtienen valores de relación agua/cemento en peso, en límites superiores, medios e inferiores, para esta investigación se considerará el valor medio, que para este caso es de 0,48.



**CORRESPONDENCIA ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO A LOS 28 DIAS DE EDAD Y LA RELACION AGUA/CEMENTO PARA EL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN CONCRETOS.**

TABLA #30

Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup>	Relación agua-cemento en peso		
	Limite superior	Linea media	Limite inferior
140	-	0,72	0,65
175	-	0,65	0,58
210	0,70	0,58	0,53
245	0,64	0,53	0,49
280	0,59	0,48	0,45
315	0,54	0,44	0,42
350	0,49	0,40	0,38

Cálculo del contenido de cemento.- El cálculo de la cantidad de cemento por metro cúbico de concreto se obtiene de la siguiente manera: como ya se tienen la relación agua/cemento y el contenido de agua, calculados en los dos pasos anteriores, se despeja el contenido de cemento (c).

Contenido de agua                      168Kg/m<sup>3</sup>

Relación agua/cemento                0,48

$$c = 168 / 0,48$$

$$c = 350 \text{kg.}$$

Estimación de las proporciones de áridos.- Para poder determinar las proporciones de los áridos, se tuvo que realizar el ajuste a las granulometrías de los áridos gruesos naturales y reciclados, en donde tuvimos las proporciones siguientes:

áridos gruesos naturales              55%

áridos finos naturales                 45%



estos valores son determinados para una dosificación de 100% de árido grueso natural.

áridos gruesos reciclados	72%
áridos finos naturales	28%

estos valores son determinados para una dosificación de 100% de árido grueso reciclado.

Ajuste por humedad de los áridos.- Debido a que los áridos gruesos presentan cierta porosidad los reciclados más que los naturales, la superficie de los áridos puede retener agua del ambiente formando una película de humedad.

Es por esta razón que a los áridos se les debe realizar este ajuste, en donde se debe conocer la humedad de los mismos, este se determina antes de preparar la mezcla. La humedad equivale a la diferencia de peso que hay entre el peso del árido con humedad natural en el lugar donde esta almacenado ( $P_o$ ) y el peso del árido en estado seco ( $P_s$ ).

$$H = ((P_o - P_s)/P_s) \times 100$$

En cuanto a la corrección por humedad y absorción de los áridos, para determinar el faltante o sobrante de agua de mezclado respecto a las condiciones de saturado y superficialmente seco, se tiene la siguiente expresión:

$$A = P_s((H/100) - (CA/100))$$

el valor de CA se refiere al porcentaje de absorción.

Ajuste a las mezclas de prueba.- Para realizar las mezclas de prueba en el laboratorio, lo que se realizó es reducir a escala de pesos de los materiales para producir unos 1000 litros de mezcla, para posteriormente realizar el ajuste por humedad de los áridos.



**ELABORACIÓN DE MEZCLAS CON DIFERENTES DOSIFICACIONES SEGÚN LA SUSTITUCIÓN DEL ÁRIDO RECICLADO POR EL NATURAL.**

Para la elaboración de diferentes dosificaciones según la sustitución del árido natural por el árido reciclado, se realiza el cálculo del volumen total de materiales a excepción de los áridos, debido a que estos deben ajustarse a una granulometría ideal, este cálculo sirve de igual manera para todos los tipos de mezclas que se elaboraran por la sustitución.

Previo a la consideración de los volúmenes totales de los materiales, se tiene que tener presente el volumen de concreto a elaborar, esto dependerá de los números de muestras que se elaboren y del tipo de ensayo, el volumen de concreto para elaborar cilindros y vigas se considero el de una dosificación, el cual será el mismo para las demás dosificaciones, teniendo la diferencia entre ellas los áridos. (ver tablas #31 y #32).

**VALORES A CONSIDERAR PARA ELABORAR UN ENSAYO COMPLETO DE CILINDROS Y VIGAS DE UNA DOSIFICACIÓN.**

TABLA #31

<b>Numero de cilindros</b>	6
<b>Numero de Viguetas</b>	6
<b>Cono Abrahms</b>	0,006
<b>Porcentaje de aumento</b>	130%

En esta tabla se consideró el volumen adicional que sufrirá el volumen de concreto al momento de elaborar el cono de abrams y de un 30% de desperdicio al momento de realizar la mezcla.



### VOLUMEN DE CONCRETO A ELABORAR CONSIDERANDO VOLUMEN Y DESPERDICIO ADICIONAL.

TABLA #32

#### Cilindros

Alto [cm]	Diametro [cm]	Area [cm <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
30	15	176,715	0,0053

#### Viguetas

Ancho	Alto	Largo	Volumen [m <sup>3</sup> ]
15	15	56	0,013

#### Volumen Total a mezclar

Volumen total Cilindros	Volumen Total Viguetas	Total [m <sup>3</sup> ]	Total + desp. [m <sup>3</sup> ]
0,03769911	0,0756	0,119	0,155

En la tabla #33 se determinaron datos que se obtuvieron de los análisis anteriores, estos son necesarios para obtener los volúmenes de los materiales en la elaboración de las mezclas.

### VALORES NECESARIOS A SER CONSIDERADOS EN LOS VOLUMENES DE LOS MATERIALES.

TABLA #33

Resistencia	210kg/cm <sup>2</sup>
a/c =	0,48
V de cemento =	350 Kg/m <sup>3</sup>
% Aire (volumen)	0,5%
% Plastificante	2,50%



De los valores de la tabla #65 se tiene que tomar en cuenta que el porcentaje de plastificante depende del que se utilice, para este caso el aditivo es un plastificante reductor de agua de alto rango en base a policarboxilatos, en el cual la dosificación recomendada es de 250cc por cada 50kg de cemento.

Los volúmenes de los materiales se desglosan en la tabla #34, en donde se puede observar valores que serán los mismos para las diferentes dosificaciones que se realizarán.

### **VOLUMENES DE MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS.**

TABLA #34

Material	W (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad (Kg/dm <sup>3</sup> )	Volumen (l/m <sup>3</sup> )
Cemento	350	3,05	114,75
Agua	168	1,00	168,00
Aire			5,00
Aditivo	8,75	1,2	7,29
<b>Volumen Total</b>			<b>295,05</b>

De los datos anteriores no se consideró el volumen de los áridos, estos se calcularon de forma general de acuerdo a lo siguiente:

$$\text{Volumen de áridos} = 1000 - \text{Volumen Total} = 704,95$$

#### **5.4.1. DOSIFICACIÓN 100% ÁRIDO GRUESO NATURAL.**

Para realizar esta dosificación se tuvo que determinar en primer lugar el porcentaje de áridos producto del ajuste granulométrico realizado anteriormente, estos deben estar con relación al peso específico de cada uno, teniendo como resultado los valores en la tabla #35.



### PORCENTAJE DE ÁRIDOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS CON 100% DE ÁRIDO GRUESO NATURAL.

TABLA #35

Material	% (en peso)	Peso Específico [Kg/dm <sup>3</sup> ]
Árido Grueso	55,0%	2,521
Árido fino	45,0%	2,56

Una vez determinados estos valores se obtiene el peso específico de los áridos mezclados, el cual se pudo determinar de la siguiente manera:

$$1/Ga = af/pf + ag/pg$$

Ga = Peso específico de los áridos mezclados.

af = % de árido fino.

pf = Peso específico de árido fino.

ag = % de árido grueso.

pg = Peso específico de árido grueso.

$$Ga = 2,54 \text{ g/cm}^3$$

Por lo tanto la cantidad de agregado necesaria es:

$$W \text{ áridos} = (\text{Volumen Áridos}) \times (Ga) = 704,95 \times 2,54$$

$$W \text{ áridos} = 1798,46 \text{ Kg/m}^3$$

Entonces las proporciones de los áridos se observan en la tabla #36:

### PESO DE LOS ÁRIDOS EN RELACIÓN A LAS PROPORCIONES.

TABLA #36

Material	% (en peso)	Peso Arido [Kg/m <sup>3</sup> ]
Árido grueso	55,0%	984,20
Árido fino	45,0%	805,26

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



El siguiente paso es realizar el ajuste por humedad de los áridos, en la tabla #37 encontramos la humedad de cada uno:

### PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LOS ÁRIDOS.

TABLA #37

	Peso Humedo	Peso Seco	% de Humedad	
Árido F	500	478,64	4,46	Humedad A.F.
Árido G	1000	986,15	1,40	Humedad A.G.

Una vez establecida la humedad de los áridos se obtiene el peso a dosificar como se indica en la tabal #38.

### AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS ÁRIDOS.

TABLA #38

Material	Peso Corregido [Kg/m <sup>3</sup> ]	Peso dosificar
Árido grueso	= $984,20 \text{ Kg/m}^3 \times (1 + H/100)$	998,0
Árido fino	= $805,26 \text{ Kg/m}^3 \times (1 + H/100)$	841,2

Conocida la humedad se procede a realizar la corrección por absorción de los áridos, como se muestra en las tablas #39 y 40.

### PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS.

TABLA #39

% de absorción A. Grueso	0,85
% de absorción A. Fino	2,700



### CORRECCIÓN POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS.

TABLA #40

Material	Peso Corregido [Kg/m <sup>3</sup> ]
Árido grueso	- 5,46 Kg/m <sup>3</sup>
Árido fino	- 14,19 Kg/m <sup>3</sup>
<b>A (total)</b>	<b>- 19,65 Kg/m<sup>3</sup></b>

Una vez realizada la corrección de humedad y absorción de los áridos se procede a realizar la comprobación del volumen de la mezcla, para ello se realiza el balance de material tal como nos muestra la tabla #41.

En donde el volumen de cada material depende del peso con relación a la densidad de cada uno de ellos.

### BALANCE DEL MATERIAL.

TABLA #41

Material	W [Kg/m <sup>3</sup> ]	Densida	Volumen [l/m <sup>3</sup> ]
Cemento	350	3,05	115
Agua	168,00	1	168
Arena fina	805,26	2,56	315
Grava	984,20	2,521	390
Aire	-	-	5
Aditivo	8,75	1,2	7
<b>Volumen Total</b>			<b>1000</b>

Como último paso a seguir encontramos las cantidades necesarias para realizar la mezcla, para ello lo que se necesita tener presente claramente es el volumen de concreto a elaborar, esto dependerá de la cantidad de cilindros y vigas así como de sus dimensiones, para esta y todas las dosificaciones se pretende realizar el mismo número de muestras, por lo tanto el volumen de concreto a elaborar será el mismo para todas.

El volumen de concreto tal como se muestra en la tabla #64, nos indica que es de 0,155m<sup>3</sup>.



Conocido este valor procedemos a obtener los pesos húmedos necesarios de los diferentes materiales para elaborar la mezcla, esto dependerá del peso húmedo natural de los diferentes materiales, en relación al volumen de concreto a realizar, en la tabla #42, se muestra la dosificación resultante de los diferentes análisis realizados.

#### DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA.

TABLA #42

Material	Peso Seco [Kg]	Peso Humedo [Kg]	Peso Humedo para Mezcla [Kg]
Cemento	350,00	350,00	54,25
Agua	168,00	148,35	22,99
Árido fino	805,26	841,19	130,38
Árido grueso	984,20	998,02	154,69
Aditivo	8,75	8,75	1,36
<b>TOTAL</b>	<b>2316</b>	<b>2346,31</b>	<b>363,68</b>

#### 5.4.2. DOSIFICACIÓN 100% ÁRIDO GRUESO RECICLADO.

Para realizar esta dosificación se tuvo que determinar como en el caso anterior el porcentaje de áridos producto del ajuste granulométrico realizado anteriormente, estos deben estar con relación al peso específico de cada uno, teniendo como resultado los valores en la tabla #43.

#### PORCENTAJE DE ÁRIDOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS CON 100% DE ÁRIDO GRUESO RECICLADO.

TABLA #43

Material	% (en peso)	Peso Específico [Kg/dm <sup>3</sup> ]
Árido grueso reciclado	72,0%	2,352
Árido fino	28,0%	2,56

Una vez determinados estos valores se obtiene el peso específico de los áridos mezclados, el cual se pudo determinar de la siguiente manera:



$$1/Ga = af/pf + ag/pg$$

Ga = Peso específico de los áridos mezclados.

af = % de árido fino.

pf = Peso específico de árido fino.

ag = % de árido grueso.

pg = Peso específico de árido grueso.

$$Ga = 2,41 \text{ g/cm}^3$$

Por lo tanto la cantidad de agregado necesaria es:

$$W \text{ áridos} = (\text{Volumen Áridos}) \times (Ga) = 704,95 \times 2,41$$

$$W \text{ áridos} = 1696,65 \text{ Kg/m}^3$$

Entonces las proporciones de los áridos se observan en la tabla #44:

#### **PESO DE LOS ÁRIDOS EN RELACIÓN A LAS PROPORCIONES.**

TABLA #44

Material	% (en peso)	Peso Agregado [Kg/m <sup>3</sup> ]
Árido grueso reciclado	72,0%	1221,59
Árido fino	28,0%	475,06

El siguiente paso es realizar el ajuste por humedad de los áridos, en la tabla #45 encontramos la humedad de cada uno:

#### **PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LOS ÁRIDOS.**

TABLA #45

	Peso Humedo	Peso Seco	% de Humedad	
Árido F	500	478,64	4,46	Humedad A.F.
Árido G. R.	963,6	950,06	1,43	Humedad A.G.R.

Una vez establecida la humedad de los áridos se obtiene el peso a dosificar como se indica en la tabla #46.

**AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS ÁRIDOS.**

TABLA #46

Material	Peso Corregido [Kg/m <sup>3</sup> ]	Peso dosificar
Arido grueso reciclado	= 1221,59 Kg/m <sup>3</sup> x (1 + H/100)	1239,1
Arido fino	= 475,06 Kg/m <sup>3</sup> x (1 + H/100)	496,3

Conocida la humedad se procede a realizar la corrección por absorción de los áridos, como se muestra en las tablas #47 y 48.

**PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS.**

TABLA #47

% de absorción A. Grueso Reciclado	7,29
% de absorción A. Fino	2,700

**CORRECCIÓN POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS.**

TABLA #48

Material	Peso Corregido [Kg/m <sup>3</sup> ]
Arido grueso reciclado	71,64 Kg/m <sup>3</sup>
Arido fino	- 8,75 Kg/m <sup>3</sup>
<b>A (total)</b>	<b>62,90 Kg/m<sup>3</sup></b>

Una vez realizada la corrección de humedad y absorción de los áridos se procede a realizar la comprobación del volumen de la mezcla, para ello se realiza el balance de material tal como nos muestra la tabla #49.

El volumen de cada material depende del peso con relación a la densidad de cada uno de ellos.

**BALANCE DEL MATERIAL.**

TABLA #49

Material	W [Kg/m <sup>3</sup> ]	Densidad	Volumen [l/m <sup>3</sup> ]
Cemento	350	3,05	115
Agua	168,00	1	168
Arena fina	475,06	2,56	186
Grava	1221,59	2,352	519
Aire	-	-	5
Aditivo	8,75	1,2	7
<b>Volumen Total</b>			1000

Como último paso a seguir como lo realizado en la dosificación anterior son las cantidades necesarias para realizar la mezcla, el volumen de concreto a elaborar es de 0,155m<sup>3</sup>.

Conocido este valor procedemos a obtener los pesos húmedos necesarios de los diferentes materiales para elaborar la mezcla, esto dependerá del peso húmedo natural de los diferentes materiales, en relación al volumen de concreto a realizar, en la tabla #50, se muestra la dosificación resultante de los diferentes análisis realizados.

**DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA.**

TABLA #50

Material	Peso Seco [Kg]	Peso Humedo [Kg]	Peso Humedo para Mezcla [Kg]
Cemento	350,00	350,00	54,25
Agua	168,00	230,90	35,79
Árido fino	475,06	496,26	76,92
Árido grueso reciclado	1221,59	1239,00	192,04
Aditivo	8,75	8,75	1,36
<b>TOTAL</b>	<b>2223</b>	<b>2324,91</b>	<b>360,36</b>

**5.4.3. DOSIFICACIÓN 80% ÁRIDO GRUESO NATURAL CON 20% ÁRIDO RECICLADO.**

Para el porcentaje de áridos producto del ajuste granulométrico realizado anteriormente, se tomará como base el árido grueso natural, debido a que al árido natural se le adicionara el reciclado, tomando un 80% para el natural y un 20% para el reciclado tal como nos muestra la tabla #51.

**PORCENTAJE DE ÁRIDOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS CON 80% DE ÁRIDO GRUESO NATURAL Y UN 20% DE ÁRIDO GRUESO RECICLADO.**

TABLA #51

Material	% (en peso)	Peso Específico [Kg/dm <sup>3</sup> ]
Árido grueso natural 80%	44,0%	2,521
Árido grueso reciclado 20%	11,0%	2,352
Árido fino	45,0%	2,56

Una vez determinados estos valores se obtiene el peso específico de los áridos mezclados, el cual se pudo determinar de la siguiente manera:

$$1/Ga = af/pf + ag/pg$$

Ga = Peso específico de los áridos mezclados.

af = % de árido fino.

pf = Peso específico de árido fino.

ag = % de árido grueso.

pg = Peso específico de árido grueso.

$$Ga = 2,52 \text{ g/cm}^3$$

Por lo tanto la cantidad de agregado necesaria es:

$$W \text{ áridos} = (\text{Volumen Áridos}) \times (Ga) = 704,95 \times 2,52$$

$$W \text{ áridos} = 1775,33 \text{ Kg/m}^3$$



Por lo tanto las proporciones de los áridos se observan en la tabla #52:

### PESO DE LOS ÁRIDOS EN RELACIÓN A LAS PROPORCIONES.

TABLA #52

Material	% (en peso)	Peso Agregado [Kg/m <sup>3</sup> ]
Árido grueso natural 80%	44,0%	781,14
Árido grueso reciclado 20%	11,0%	195,29
Árido fino	45,0%	798,90

El siguiente paso es realizar el ajuste por humedad de los áridos, en la tabla #53 encontramos la humedad de cada uno:

### PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LOS ÁRIDOS.

TABLA #53

	Peso Humedo	Peso Seco	% de Humedad	
Árido F	500	478,64	4,46	Humedad A.F.
Árido G. N.	1000	986,15	1,40	Humedad A.G.N.
Árido G. R.	963,6	950,06	1,43	Humedad A.G.R.

Una vez establecida la humedad de los áridos se obtiene el peso a dosificar como se indica en la tabla #54.

### AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS ÁRIDOS.

TABLA #54

Material	Peso Corregido [Kg/m <sup>3</sup> ]	Peso dosificar
Árido grueso natural 80%	= 781,14 Kg/m <sup>3</sup> x (1 + H/100)	792,1
Árido grueso reciclado 20%	= 195,29 Kg/m <sup>3</sup> x (1 + H/100)	198,1
Árido fino	= 798,90 Kg/m <sup>3</sup> x (1 + H/100)	834,5

Conocida la humedad se procede a realizar la corrección por absorción de los áridos, como se muestra en las tablas #55 y 56.

### PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS.

TABLA #55

% de absorción A. Grueso	0,85
% de absorción A. Grueso R.	7,290
% de absorción A. Fino	2,700

**CORRECCIÓN POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS.**

TABLA #56

Material	Peso Corregido [Kg/m <sup>3</sup> ]
Árido grueso natural 80%	- 4,33 Kg/m <sup>3</sup>
Árido grueso reciclado 20%	11,45 Kg/m <sup>3</sup>
Árido fino	- 14,71 Kg/m <sup>3</sup>
<b>A (total)</b>	<b>- 7,59 Kg/m<sup>3</sup></b>

Una vez realizada la corrección de humedad y absorción de los áridos se procede a realizar la comprobación del volumen de la mezcla, para ello se realiza el balance de material tal como nos muestra la tabla #57.

El volumen de cada material depende del peso con relación a la densidad de cada uno de ellos.

**BALANCE DEL MATERIAL.**

TABLA #57

Material	W [Kg/m <sup>3</sup> ]	Densidad	Volumen
Cemento	350	3,05	115
Agua	168,00	1	168
Árido grueso reciclado 20%	195,29	2,352	83
Árido fino	798,90	2,56	312
Árido grueso natural 80%	781,14	2,521	310
Aire	-	-	5,0
Aditivo	8,75	1,2	7,3
<b>Volumen Total</b>			<b>1000</b>

Como último paso a seguir como lo realizado en la dosificaciones anteriores son las cantidades necesarias para realizar la mezcla, el volumen de concreto a elaborar es de 0,155m<sup>3</sup>.

Conocido este valor procedemos a obtener los pesos húmedos necesarios de los diferentes materiales para elaborar la mezcla, esto dependerá del peso húmedo natural de los diferentes materiales, en relación al volumen de concreto a realizar, en la tabla #58, se muestra la dosificación resultante de los diferentes análisis realizados.



## DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA.

TABLA #58

Material	Peso Seco [Kg]	Peso Humedo [Kg]	Peso Humedo para Mezcla [Kg]
Cemento	350,00	350,00	54,25
Agua	168,00	160,41	24,86
Árido grueso reciclado 20%	195,29	198,07	30,70
Árido fino	798,90	834,55	129,36
Árido grueso natural 80%	781,14	792,12	122,78
Aditivo	8,75	8,75	1,36
TOTAL	2302	2343,90	363,30

### 5.4.4. DOSIFICACIÓN 60% ÁRIDO GRUESO NATURAL CON 40% ÁRIDO RECICLADO.

Se tomará como base el árido grueso natural, tomando un 60% para el natural y un 40% para el reciclado, tal como nos muestra la tabla #59.

### PORCENTAJE DE ÁRIDOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS CON 60% DE ÁRIDO GRUESO NATURAL Y UN 40% DE ÁRIDO GRUESO RECICLADO.

TABLA #59

Material	% (en peso)	Peso Específico [Kg/dm <sup>3</sup> ]
Árido grueso natural 60%	33,0%	2,521
Árido grueso reciclado 40%	22,0%	2,352
Árido fino	45,0%	2,56

Una vez determinados estos valores se obtiene el peso específico de los áridos mezclados, el cual se pudo determinar de la siguiente manera:

$$1/G_a = a_f/p_f + a_g/p_g$$

$G_a$  = Peso específico de los áridos mezclados.



af = % de árido fino.

pf = Peso específico de árido fino.

ag = % de árido grueso.

pg = Peso específico de árido grueso.

$$G_a = 2,50 \text{ g/cm}^3$$

Por lo tanto la cantidad de agregado necesaria es:

$$W \text{ áridos} = (\text{Volumen Áridos}) \times (G_a) = 704,95 \times 2,50$$

$$W \text{ áridos} = 1775,33 \text{ Kg/m}^3$$

Por lo tanto las proporciones de los áridos se observan en la tabla #60:

### PESO DE LOS ÁRIDOS EN RELACIÓN A LAS PROPORCIONES.

TABLA #60

Material	% (en peso)	Peso Agregado [Kg/m <sup>3</sup> ]
Árido grueso natural 60%	33,0%	581,27
Árido grueso reciclado 40%	22,0%	387,51
Árido fino	45,0%	792,64

El siguiente paso es realizar el ajuste por humedad de los áridos, en la tabla #61 encontramos la humedad de cada uno:

### PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LOS ÁRIDOS.

TABLA #61

	Peso Humedo	Peso Seco	% de Humedad	
Árido F	500	478,64	4,46	Humedad A.F.
Árido G. N.	1000	986,15	1,40	Humedad A.G.N.
Árido G. R.	963,6	950,06	1,43	Humedad A.G.R.

Una vez establecida la humedad de los áridos se obtiene el peso a dosificar como se indica en la tabla #62.



### AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS ÁRIDOS.

TABLA #62

Material	Peso Corregido [Kg/m <sup>3</sup> ]	Peso dosificar
Árido grueso natural 60%	= 581,27 Kg/m <sup>3</sup> x (1 + H/100)	589,4
Árido grueso reciclado 40%	= 387,51 Kg/m <sup>3</sup> x (1 + H/100)	393,0
Árido fino	= 792,64 Kg/m <sup>3</sup> x (1 + H/100)	828,0

Conocida la humedad se procede a realizar la corrección por absorción de los áridos, como se muestra en las tablas #63 y 64.

### PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS.

TABLA #63

% de absorción A. Grueso	0,85
% de absorción A. Grueso R.	7,290
% de absorción A. Fino	2,700

### CORRECCIÓN POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS.

TABLA #64

Material	Peso Corregido [Kg/m <sup>3</sup> ]
Árido grueso natural 60%	- 3,22 Kg/m <sup>3</sup>
Árido grueso reciclado 40%	22,73 Kg/m <sup>3</sup>
Árido fino	- 14,59 Kg/m <sup>3</sup>
<b>A (total)</b>	<b>4,91 Kg/m<sup>3</sup></b>

Una vez realizada la corrección de humedad y absorción de los áridos se procede a realizar la comprobación del volumen de la mezcla, para ello se realiza el balance de material tal como nos muestra la tabla #65.

El volumen de cada material depende del peso con relación a la densidad de cada uno de ellos.

**BALANCE DEL MATERIAL.**

TABLA #65

Material	W [Kg/m <sup>3</sup> ]	Densidad [Kg/dm <sup>3</sup> ]	Volumen [l/m <sup>3</sup> ]
Cemento	350	3,05	115
Agua	168,00	1	168
Árido grueso reciclado 40%	387,51	2,352	165
Árido fino	792,64	2,56	310
Árido grueso natural 60%	581,27	2,521	231
Aire	-	-	5,0
Aditivo	8,75	1,2	7,3
<b>Volumen Total</b>			<b>1000</b>

Como último paso a seguir como lo realizado en la dosificaciomes anteriores son las cantidades necesarias para realizar la mezcla, el volumen de concreto a elaborar es de 0,155m<sup>3</sup>.

Conocido este valor procedemos a obtener los pesos húmedos necesarios de los diferentes materiales para elaborar la mezcla, esto dependerá del peso húmedo natural de los diferentes materiales, en relación al volumen de concreto a realizar, en la tabla #66, se muestra la dosificación resultante de los diferentes análisis realizados.

**DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA.**

TABLA #66

Material	Peso Seco [Kg]	Peso Humedo [Kg]	Peso Humedo para Mezcla [Kg]
Cemento	350,00	350,00	54,25
Agua	168,00	172,91	26,80
Árido grueso reciclado 40%	387,51	393,04	60,92
Árido fino	792,64	828,01	128,34
Árido grueso natural 60%	581,27	589,43	91,36
Aditivo	8,75	8,75	1,36
<b>TOTAL</b>	<b>2288</b>	<b>2342,14</b>	<b>363,03</b>



### 5.4.5. DOSIFICACIÓN 40% ÁRIDO GRUESO NATURAL CON 60% ÁRIDO RECICLADO.

Se tomará como base el árido grueso natural, tomando un 40% para el natural y un 60% para el reciclado, tal como nos muestra la tabla #67.

#### PORCENTAJE DE ÁRIDOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS CON 40% DE ÁRIDO GRUESO NATURAL Y UN 60 % DE ÁRIDO GRUESO RECICLADO.

TABLA #67

Material	% (en peso)	Peso Específico [Kg/dm <sup>3</sup> ]
Árido grueso natural 40%	22,0%	2,521
Árido grueso reciclado 60%	33,0%	2,352
Árido fino	45,0%	2,56

Una vez determinados estos valores se obtiene el peso específico de los áridos mezclados, el cual se pudo determinar de la siguiente manera:

$$1/G_a = a_f/p_f + a_g/p_g$$

$G_a$  = Peso específico de los áridos mezclados.

$a_f$  = % de árido fino.

$p_f$  = Peso específico de árido fino.

$a_g$  = % de árido grueso.

$p_g$  = Peso específico de árido grueso.

$$G_a = 2,48 \text{ g/cm}^3$$

Por lo tanto la cantidad de agregado necesaria es:

$$W \text{ áridos} = (\text{Volumen Áridos}) \times (G_a) = 704,95 \times 2,48$$

$$W \text{ áridos} = 1747,73 \text{ Kg/m}^3$$

Por lo tanto las proporciones de los áridos se observan en la tabla #68:

**PESO DE LOS ÁRIDOS EN RELACIÓN A LAS PROPORCIONES.**

TABLA #68

Material	% (en peso)	Peso Agregado [Kg/m <sup>3</sup> ]
Árido grueso natural 40%	22,0%	384,50
Árido grueso reciclado 60%	33,0%	576,75
Árido fino	45,0%	786,48

El siguiente paso es realizar el ajuste por humedad de los áridos, en la tabla #69 encontramos la humedad de cada uno:

**PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LOS ÁRIDOS.**

TABLA #69

	Peso Humedo	Peso Seco	% de Humedad	
Árido F	500	478,64	4,46	Humedad A.F.
Árido G. N.	1000	986,15	1,40	Humedad A.G.N.
Árido G. R.	963,6	950,06	1,43	Humedad A.G.R.

Una vez establecida la humedad de los áridos se obtiene el peso a dosificar como se indica en la tabla #70.

**AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS ÁRIDOS.**

TABLA #70

Material	Peso Corregido [Kg/m <sup>3</sup> ]	Peso dosificar
Árido grueso natural 40%	= 384,50 Kg/m <sup>3</sup> x (1 + H/100)	389,9
Árido grueso reciclado 60%	= 576,75 Kg/m <sup>3</sup> x (1 + H/100)	585,0
Árido fino	= 786,48 Kg/m <sup>3</sup> x (1 + H/100)	821,6

Conocida la humedad se procede a realizar la corrección por absorción de los áridos, como se muestra en las tablas #71 y 72.

**PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS.**

TABLA #71

% de absorción A. Grueso	0,85
% de absorción A. Grueso R.	7,290
% de absorción A. Fino	2,700

**CORRECCIÓN POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS.**

TABLA #72

Material	Peso Corregido [Kg/m <sup>3</sup> ]
Árido grueso natural 40%	- 2,13 Kg/m <sup>3</sup>
Árido grueso reciclado 60%	33,83 Kg/m <sup>3</sup>
Árido fino	- 14,48 Kg/m <sup>3</sup>
<b>A (total)</b>	<b>17,21 Kg/m<sup>3</sup></b>

Una vez realizada la corrección de humedad y absorción de los áridos se procede a realizar la comprobación del volumen de la mezcla, para ello se realiza el balance de material tal como nos muestra la tabla #73.

El volumen de cada material depende del peso con relación a la densidad de cada uno de ellos.

**BALANCE DEL MATERIAL.**

TABLA #73

Material	W [Kg/m <sup>3</sup> ]	Densidad	Volumen [l/m <sup>3</sup> ]
Cemento	350	3,05	115
Agua	168,00	1	168
Árido grueso reciclado 60%	576,75	2,352	245
Árido fino	786,48	2,56	307
Árido grueso natural 40%	384,50	2,521	153
Aire	-	-	5,0
Aditivo	8,75	1,2	7,3
<b>Volumen Total</b>			<b>1000</b>



Como último paso a seguir como lo realizado en la dosificaciomes anteriores son las cantidades necesarias para realizar la mezcla, el volumen de concreto a elaborar es de  $0,155\text{m}^3$ .

Conocido este valor procedemos a obtener los pesos húmedos necesarios de los diferentes materiales para elaborar la mezcla, esto dependerá del peso húmedo natural de los diferentes materiales, en relación al volumen de concreto a realizar, en la tabla #74, se muestra la dosificación resultante de los diferentes análisis realizados.

#### DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA.

TABLA #74

Material	Peso Seco [Kg]	Peso Humedo [Kg]	Peso Humedo para Mezcla [Kg]
Cemento	350,00	350,00	54,25
Agua	168,00	185,21	28,71
Árido grueso reciclado 60%	576,75	584,97	90,67
Árido fino	786,48	821,58	127,34
Árido grueso natural 40%	384,50	389,90	60,43
Aditivo	8,75	8,75	1,36
TOTAL	2274	2340,41	362,76

#### 5.4.6. DOSIFICACIÓN 20% ÁRIDO GRUESO NATURAL CON 80% ÁRIDO RECICLADO.

Se tomará como base el árido grueso natural, tomando un 20% para el natural y un 80% para el reciclado, tal como nos muestra la tabla #75.



**PORCENTAJE DE ÁRIDOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS CON 20% DE ÁRIDO GRUESO NATURAL Y UN 80 % DE ÁRIDO GRUESO RECICLADO.**

TABLA #75

Material	% (en peso)	Peso Específico [Kg/dm <sup>3</sup> ]
Árido grueso natural 20%	11,0%	2,521
Árido grueso reciclado 80%	44,0%	2,352
Árido fino	45,0%	2,56

Una vez determinados estos valores se obtiene el peso específico de los áridos mezclados, el cual se pudo determinar de la siguiente manera:

$$1/G_a = a_f/p_f + a_g/p_g$$

$G_a$  = Peso específico de los áridos mezclados.

$a_f$  = % de árido fino.

$p_f$  = Peso específico de árido fino.

$a_g$  = % de árido grueso.

$p_g$  = Peso específico de árido grueso.

$$G_a = 2,46 \text{ g/cm}^3$$

Por lo tanto la cantidad de agregado necesaria es:

$$W \text{ áridos} = (\text{Volumen Áridos}) \times (G_a) = 704,95 \times 2,48$$

$$W \text{ áridos} = 1734,25 \text{ Kg/m}^3$$

Por lo tanto las proporciones de los áridos se observan en la tabla #76:

**PESO DE LOS ÁRIDOS EN RELACIÓN A LAS PROPORCIONES.**

TABLA #76

Material	% (en peso)	Peso Agregado [Kg/m <sup>3</sup> ]
Árido grueso natural 20%	11,0%	190,77
Árido grueso reciclado 80%	44,0%	763,07
Árido fino	45,0%	780,41

El siguiente paso es realizar el ajuste por humedad de los áridos, en la tabla #77 encontramos la humedad de cada uno:

**PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LOS ÁRIDOS.**

TABLA #77

	Peso Humedo	Peso Seco	% de Humedad	
Árido F	500	478,64	4,46	Humedad A.F.
Árido G. N.	1000	986,15	1,40	Humedad A.G.N.
Árido G. R.	963,6	950,06	1,43	Humedad A.G.R.

Una vez establecida la humedad de los áridos se obtiene el peso a dosificar como se indica en la tabla #78.

**AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS ÁRIDOS.**

TABLA #78

Material	Peso Corregido [Kg/m <sup>3</sup> ]	Peso dosificar
Árido grueso natural 20%	= 190,77 Kg/m <sup>3</sup> x (1 + H/100)	192,1
Árido grueso reciclado 80%	= 763,07 Kg/m <sup>3</sup> x (1 + H/100)	785,6
Árido fino	= 780,41 Kg/m <sup>3</sup> x (1 + H/100)	815,5

Conocida la humedad se procede a realizar la corrección por absorción de los áridos, como se muestra en las tablas #79 y 80.



### PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS.

TABLA #79

% de absorción A. Grueso	0,85
% de absorción A. Grueso R.	7,290
% de absorción A. Fino	2,700

### CORRECCIÓN POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS.

TABLA #80

Material	Peso Corregido [Kg/m <sup>3</sup> ]
Arido grueso natural 20%	0,27 Kg/m <sup>3</sup>
Arido grueso reciclado 80%	33,08 Kg/m <sup>3</sup>
Árido fino	- 14,65 Kg/m <sup>3</sup>
<b>A (total)</b>	<b>18,69 Kg/m<sup>3</sup></b>

Una vez realizada la corrección de humedad y absorción de los áridos se procede a realizar la comprobación del volumen de la mezcla, para ello se realiza el balance de material tal como nos muestra la tabla #81.

El volumen de cada material depende del peso con relación a la densidad de cada uno de ellos.

### BALANCE DEL MATERIAL.

TABLA #81

Material	W [Kg/m <sup>3</sup> ]	Densidad	Volumen [l/m <sup>3</sup> ]
Cemento	350	3,05	115
Agua	168,00	1	168
Árido grueso reciclado 80%	763,07	2,352	324
Árido fino	780,41	2,56	305
Árido grueso natural 20%	190,77	2,521	76
Aire	-	-	5,0
Aditivo	8,75	1,2	7,3
<b>Volumen Total</b>			<b>1000</b>



Como último paso a seguir como lo realizado en la dosificaciomes anteriores son las cantidades necesarias para realizar la mezcla, el volumen de concreto a elaborar es de  $0,155\text{m}^3$ .

Conocido este valor procedemos a obtener los pesos húmedos necesarios de los diferentes materiales para elaborar la mezcla, esto dependerá del peso húmedo natural de los diferentes materiales, en relación al volumen de concreto a realizar, en la tabla #82, se muestra la dosificación resultante de los diferentes análisis realizados.

**DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA.**

TABLA #82

Material	Peso Seco [Kg]	Peso Humedo [Kg]	Peso Humedo para Mezcla [Kg]
Cemento	350,00	350,00	54,25
Agua	168,00	186,69	28,94
Árido grueso reciclado 80%	763,07	785,62	121,77
Árido fino	780,41	815,51	126,40
Árido grueso natural 20%	190,77	192,12	29,78
Aditivo	8,75	8,75	1,36
TOTAL	2261	2338,69	362,50



## 5.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN DE LAS .

El procedimiento de mezclado se realizó según la norma ASTM C192 (2007), en donde nos explica los siguientes pasos:

- Adicionar los agregados gruesos a la mezcladora junto con 1/3 del agua de mezcla.
- Encender la mezcladora para mezclar los agregados y el agua por 30 segundos para saturarlos.
- Detener la mezcladora para agregar los materiales cementantes junto con los agregados finos.
- Reiniciar el mezclado y adicionar el agua restante lentamente junto con los aditivos (si es que los hubiere).
- Este mezclado final se realizará durante 3 minutos, seguidamente detener la mezcladora y dejar descansar la mezcla por otros tres minutos y finalmente encender la mezcladora para mezclar por 2 minutos.

Para la elaboración de los concretos en que se involucre el árido grueso reciclado se seguirán las recomendaciones recibidas por el Ing. Andrés Salas en lo siguiente:

- Rociar los agregados con agua hasta que se saturen 24 horas antes de la mezcla.
- Al rociarlos deben quedar humedecidos o encharcados con un poco de residuo de agua.
- Los agregados reciclados deben quedar con una saturación por encima del 80% pero no totalmente saturados.
- Al momento de rociarlos deben estar un poco dispersos ya que pueden estar amontonados uno sobre otro.
- Una vez culminada la saturación se procede a taparlos con un



Imagen 41.-  
Verificación del asentamiento.



Imagen 42.-  
Ensayos en laboratorio  
AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano

CAPITULO 5.- DESARROLLO DEL CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS

plastico y posteriormente se determinara la humedad solo hasta que se vaya a realizar la mezcla.

El asentamiento obtenido para todas las dosificaciones tiene un valor promedio de 9,2cm, está dentro de los parametros establecidos en los diseño de las diferentes mezclas. Ver imagen 41.

**Concreto con 100% de árido grueso natural.-** Este concreto servirá de parámetro de comparación para las siguientes dosificaciones, teniendo una fatiga requerida de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Para este y todos los concretos elaborados con diferentes dosificaciones, se realizaron: (ver imagen 50)

- 2 cilindro a los 7 días.
- 2 cilindro a los 14 días.
- 2 cilindros a los 28 días.
- 2 vigas a los 7 días.
- 2 vigas a los 14 días.
- 2 vigas a los 28 días.

En la tabla #83, se observan los resultados de los ensayos a compresión de los cilindros.

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ELABORADO CON 100% DE ÁRIDO GRUESO NATURAL.**

TABLA #83

FECHA DE CONFECCIÓN	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO CIL. (cm)	CARGA DE ROTURA (Kg)	FATIGA DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD (días)	FATIGA REQUERIDA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% ALCANZADO
28/8/2012	4/9/2012	15,3	33.990	185	7	210	88%
28/8/2012	4/9/2012	15,3	34.820	189	7	210	90%
28/8/2012	11/9/2012	15,2	37.910	209	14	210	99%
28/8/2012	11/9/2012	15,2	37.380	206	14	210	98%
28/8/2012	25/9/2012	15,3	44.940	244	28	210	116%
28/8/2012	25/9/2012	15,2	46.170	254	28	210	121%



Se puede observar que la resistencia a la compresión del cilindro cumple con la resistencia requerida en un 120%.

En el gráfico #7, se puede observar la tendencia de la resistencia adquirida a los 28 días

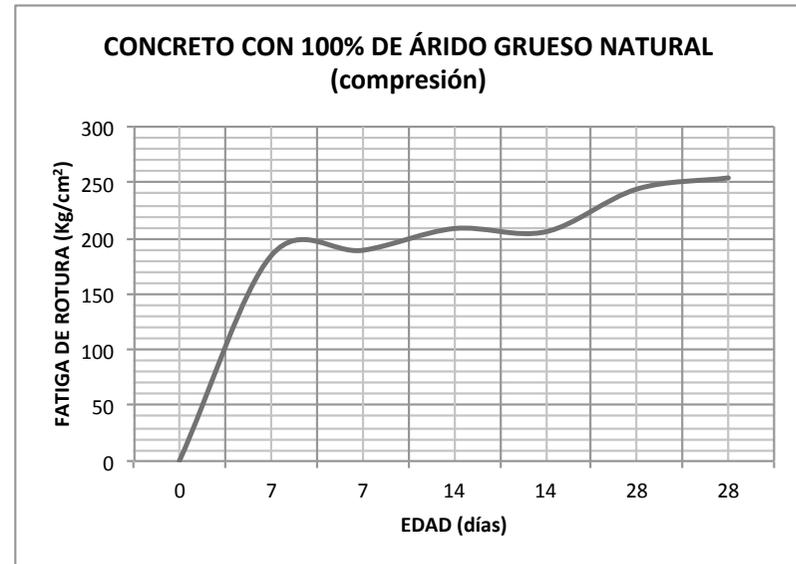
En la tabla #84, se observan los resultados de los ensayos a flexión de las vigas.

**RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ELABORADO CON 100% DE ÁRIDO GRUESO NATURAL.**

TABLA #84

FECHA DE CONFECCIÓN	FECHA DE ROTURA	DIMENSIONES VIGA (cm)	CARGA DE ROTURA (N)	MODULO DE RUPTURA EN Mpa.	EDAD (días)	MODULO DE RUPTURA REQUERIDO EN Mpa.	% ALCANZADO
28/8/2012	4/9/2012	15,5*15,5*51	19.172	2,34	7	3,15	74%
28/8/2012	4/9/2012	15,5*15,5*52	18.778	2,29	7	3,15	73%
28/8/2012	11/9/2012	15,5*15,5*53	19.783	2,42	14	3,15	77%
28/8/2012	11/9/2012	15,5*15,5*54	20.020	2,45	14	3,15	78%
28/8/2012	25/9/2012	15,5*15,5*55	23.604	2,88	28	3,15	92%
28/8/2012	25/9/2012	15,5*15,5*56	22.849	2,79	28	3,15	89%

Gráfico #7



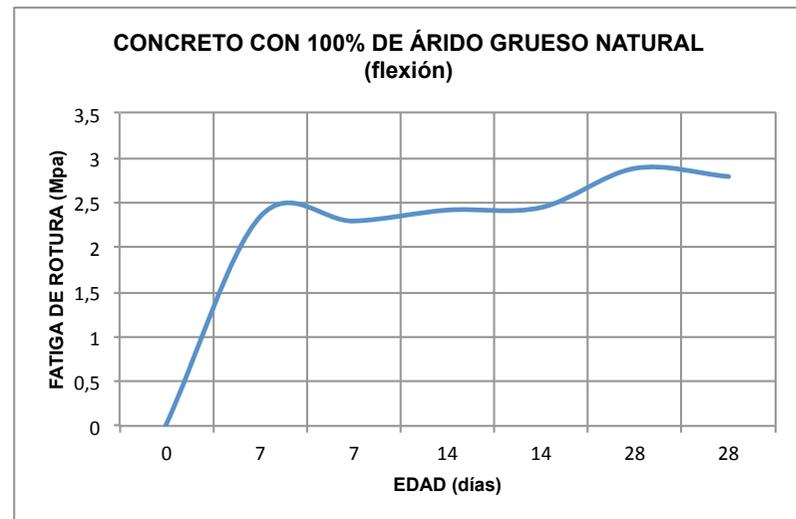
Se puede observar que la resistencia a la flexión de las vigas con árido grueso natural no cumplen con la resistencia requerida, teniendo un porcentaje de cumplimiento de 92%.

En el gráfico #8, se puede observar la tendencia de la resistencia a la flexión adquirida a los 28 días

**Concreto con 80% de árido grueso natural y 20% de árido grueso reciclado.-**

En la tabla #85, se observan los resultados de los ensayos a compresión de los cilindros.

Gráfico #8



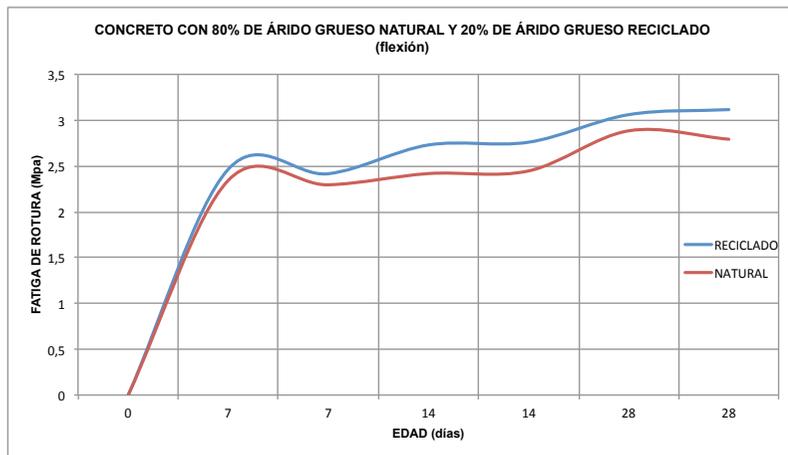
AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



Gráfico #9



Gráfico #10



AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ELABORADO CON 80% DE ÁRIDO GRUESO NATURAL Y 20% DE RECICLADO.**

TABLA #85

FECHA DE CONFECCIÓN	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO CIL. (cm)	CARGA DE ROTURA (Kg)	FATIGA DE ROTURA (kg/cm²)	EDAD (días)	FATIGA REQUERIDA (Kg/cm²)	% ALCANZADO
28/8/2012	4/9/2012	15,2	33.330	184	7	210	87%
28/8/2012	4/9/2012	15,2	32.660	180	7	210	86%
28/8/2012	11/9/2012	15,3	37.940	206	14	210	98%
28/8/2012	11/9/2012	15,3	38.410	209	14	210	99%
28/8/2012	25/9/2012	15,2	44.760	247	28	210	117%
28/8/2012	25/9/2012	15,2	41.740	230	28	210	110%

Se puede observar que la resistencia a la compresión del cilindro cumple con la resistencia requerida en un 117%.

En el gráfico #9, se puede observar la tendencia de la resistencia adquirida a los 28 días, comparando con el árido natural, existe un mejor similar

En la tabla #86, se observan los resultados de los ensayos a flexión de las vigas.

**RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ELABORADO CON 80% DE ÁRIDO GRUESO NATURAL Y 20% DE RECICLADO.**

TABLA #86

FECHA DE CONFECCIÓN	FECHA DE ROTURA	DIMENSIONES VIGA (cm)	CARGA DE ROTURA (N)	MODULO DE RUPTURA EN Mpa.	EDAD (días)	MODULO DE RUPTURA REQUERIDO EN Mpa.	% ALCANZADO
28/8/2012	4/9/2012	15,5*15,5*51	20.164	2,46	7	3,15	78%
28/8/2012	4/9/2012	15,5*15,5*52	19.768	2,42	7	3,15	77%
28/8/2012	11/9/2012	15,5*15,5*53	22.339	2,73	14	3,15	87%
28/8/2012	11/9/2012	15,5*15,5*54	22.585	2,76	14	3,15	88%
28/8/2012	25/9/2012	15,5*15,5*55	25.046	3,06	28	3,15	97%
28/8/2012	25/9/2012	15,5*15,5*56	25.497	3,12	28	3,15	99%

Se puede observar que la resistencia a la flexión de las vigas con árido grueso natural no cumplen con la resistencia requerida, teniendo un porcentaje de cumplimiento de 99%.

En el gráfico #10, se puede observar la tendencia de la resistencia a la flexión adquirida a los 28 días, comparando con el árido natural, existe un mejor comportamiento.



### Concreto con 60% de árido grueso natural y 40% de árido grueso reciclado.-

En la tabla #119, se observan los resultados de los ensayos a compresión de los cilindros. Ver imagen 43.

### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ELABORADO CON 60% DE ÁRIDO GRUESO NATURAL Y 40% DE RECICLADO.

TABLA #87

FECHA DE CONFECCIÓN	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO CIL. (cm)	CARGA DE ROTURA (Kg)	FATIGA DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD (días)	FATIGA REQUERIDA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% ALCANZADO
28/8/2012	4/9/2012	15,2	34.800	192	7	210	91%
28/8/2012	4/9/2012	15,3	33.750	184	7	210	87%
28/8/2012	11/9/2012	15,3	40.190	219	14	210	104%
28/8/2012	11/9/2012	15,3	41.480	226	14	210	107%
28/8/2012	25/9/2012	15,2	47.010	259	28	210	123%
28/8/2012	25/9/2012	15,2	46.870	258	28	210	123%

Se puede observar que la resistencia a la compresión del cilindro cumple con la resistencia requerida en un 123%.

En el gráfico #11, se puede observar la tendencia de la resistencia adquirida a los 28 días, comparando con el árido natural, existe un mejor comportamiento

En la tabla #88, se observan los resultados de los ensayos a flexión de las vigas.

### RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ELABORADO CON 60% DE ÁRIDO GRUESO NATURAL Y 40% DE RECICLADO.

TABLA #88

FECHA DE CONFECCIÓN	FECHA DE ROTURA	DIMENSIONES VIGA (cm)	CARGA DE ROTURA (N)	MODULO DE RUPTURA EN Mpa.	EDAD (días)	MODULO DE RUPTURA REQUERIDO EN Mpa.	% ALCANZADO
28/8/2012	4/9/2012	15,5*15,5*51	20.918	2,56	7	3,15	81%
28/8/2012	4/9/2012	15,5*15,5*52	20.508	2,51	7	3,15	80%
28/8/2012	11/9/2012	15,5*15,5*53	22.764	2,78	14	3,15	88%
28/8/2012	11/9/2012	15,5*15,5*54	23.015	2,81	14	3,15	89%
28/8/2012	25/9/2012	15,5*15,5*55	25.984	3,17	28	3,15	101%
28/8/2012	25/9/2012	15,5*15,5*56	25.105	3,07	28	3,15	97%

Gráfico #11

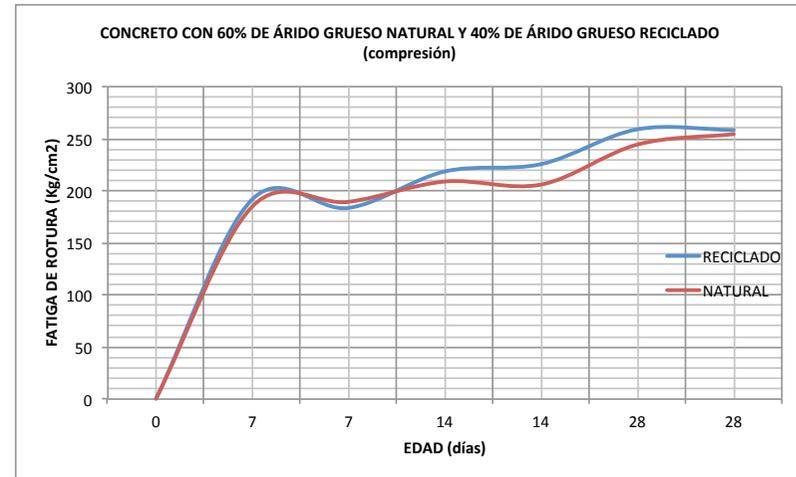


Imagen 43.-  
Rotura de cilindro 40% árido reciclado.

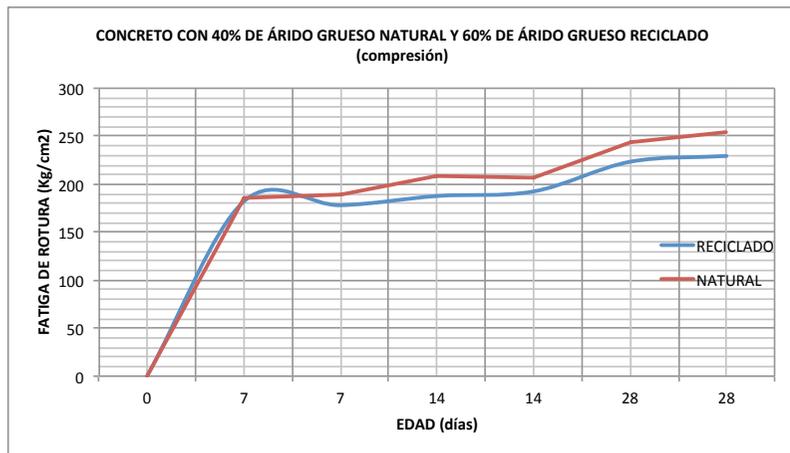
AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



Gráfico #12



Gráfico #13



Se puede observar que la resistencia a la flexión de las vigas con árido grueso natural cumplen con la resistencia requerida, teniendo un porcentaje de cumplimiento de 101%.

En el gráfico #12, se puede observar la tendencia de la resistencia a la flexión adquirida a los 28 días, comparando con el árido natural, existe un mejor comportamiento.

**Concreto con 40% de árido grueso natural y 60% de árido grueso reciclado.-**

En la tabla #89, se observan los resultados de los ensayos a compresión de los cilindros.

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ELABORADO CON 40% DE ÁRIDO GRUESO NATURAL Y 60% DE RECICLADO.**

TABLA #89

FECHA DE CONFECCIÓN	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO CIL. (cm)	CARGA DE ROTURA (Kg)	FATIGA DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD (días)	FATIGA REQUERIDA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% ALCANZADO
28/8/2012	4/9/2012	15,2	33.070	182	7	210	87%
28/8/2012	4/9/2012	15,2	32.320	178	7	210	85%
28/8/2012	11/9/2012	15,3	34.516	188	14	210	89%
28/8/2012	11/9/2012	15,2	34.930	192	14	210	92%
28/8/2012	25/9/2012	15,2	40.540	223	28	210	106%
28/8/2012	25/9/2012	15,3	42.180	229	28	210	109%

Se puede observar que la resistencia a la compresión del cilindro cumple con la resistencia requerida en un 109%.

En el gráfico #13, se puede observar la tendencia de la resistencia adquirida a los 28 días, comparando con el árido natural, existe un comportamiento menor.

En la tabla #90, se observan los resultados de los ensayos a flexión de las vigas.



**RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ELABORADO CON 40% DE ÁRIDO GRUESO NATURAL Y 60% DE RECICLADO.**

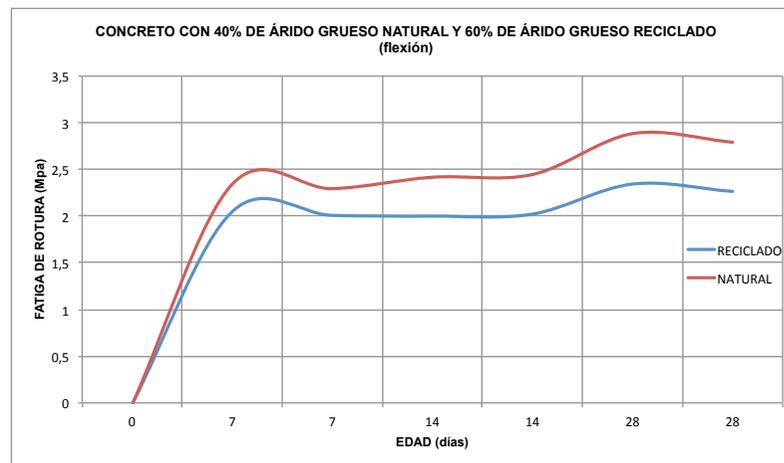
TABLA #90

FECHA DE CONFECCIÓN	FECHA DE ROTURA	DIMENSIONES VIGA (cm)	CARGA DE ROTURA (N)	MODULO DE RUPTURA EN Mpa.	EDAD (días)	MODULO DE RUPTURA REQUERIDO EN Mpa.	% ALCANZADO
28/8/2012	4/9/2012	15,5*15,5*51	16.767	2,05	7	3,15	65%
28/8/2012	4/9/2012	15,5*15,5*52	16.438	2,01	7	3,15	64%
28/8/2012	11/9/2012	15,5*15,5*53	16.371	2,00	14	3,15	64%
28/8/2012	11/9/2012	15,5*15,5*54	16.552	2,02	14	3,15	64%
28/8/2012	25/9/2012	15,5*15,5*55	19.183	2,34	28	3,15	74%
28/8/2012	25/9/2012	15,5*15,5*56	18.535	2,26	28	3,15	72%

Se puede observar que la resistencia a la flexión de las vigas con árido grueso natural no cumplen con la resistencia requerida, teniendo un porcentaje de cumplimiento de 74%.

En el gráfico #14, se puede observar la tendencia de la resistencia a la flexión adquirida a los 28 días, comparando con el árido natural, existe comportamiento menor.

Gráfico #14



**Concreto con 20% de árido grueso natural y 80% de árido grueso reciclado.-**

En la tabla #91, se observan los resultados de los ensayos a compresión de los cilindros. Ver imagen 44.

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ELABORADO CON 20% DE ÁRIDO GRUESO NATURAL Y 80% DE RECICLADO.**

TABLA #91

FECHA DE CONFECCIÓN	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO CIL. (cm)	CARGA DE ROTURA (Kg)	FATIGA DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD (días)	FATIGA REQUERIDA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% ALCANZADO
28/8/2012	4/9/2012	15,2	33.074	182	7	210	87%
28/8/2012	4/9/2012	15,1	32.410	181	7	210	86%
28/8/2012	11/9/2012	15,2	37.564	207	14	210	99%
28/8/2012	11/9/2012	15,2	38.030	210	14	210	100%
28/8/2012	25/9/2012	15,3	44.260	241	28	210	115%
28/8/2012	25/9/2012	15,3	45.390	247	28	210	118%

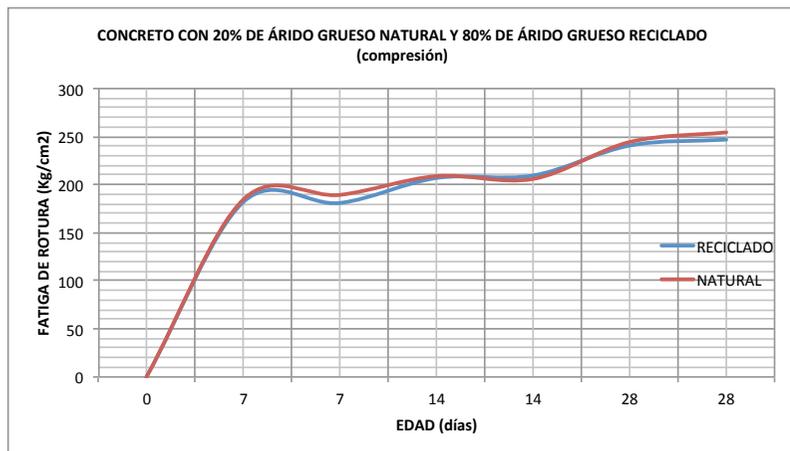


Imagen 44.- Rotura de cilindro 80% árido reciclado.

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



Gráfico #15



Se puede observar que la resistencia a la compresión del cilindro cumple con la resistencia requerida en un 118%.

En el gráfico #15, se puede observar la tendencia de la resistencia adquirida a los 28 días, comparando con el árido natural, existe un comportamiento similar.

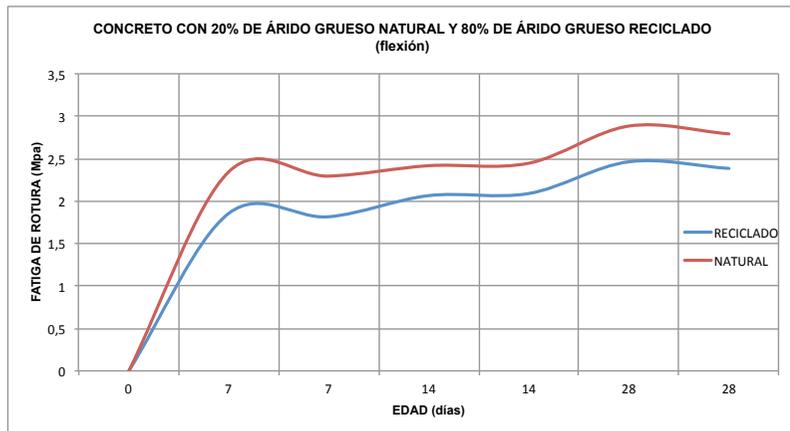
En la tabla #92, se observan los resultados de los ensayos a flexión de las vigas.

**RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ELABORADO CON 20% DE ÁRIDO GRUESO NATURAL Y 80% DE RECICLADO.**

TABLA #92

FECHA DE CONFECCIÓN	FECHA DE ROTURA	DIMENSIONES VIGA (cm)	CARGA DE ROTURA (N)	MODULO DE RUPTURA EN Mpa.	EDAD (días)	MODULO DE RUPTURA REQUERIDO EN Mpa.	% ALCANZADO
28/8/2012	4/9/2012	15,5*15,5*51	15.168	1,85	7	3,15	59%
28/8/2012	4/9/2012	15,5*15,5*52	14.856	1,82	7	3,15	58%
28/8/2012	11/9/2012	15,5*15,5*53	16.896	2,06	14	3,15	66%
28/8/2012	11/9/2012	15,5*15,5*54	17.099	2,09	14	3,15	66%
28/8/2012	25/9/2012	15,5*15,5*55	20.159	2,46	28	3,15	78%
28/8/2012	25/9/2012	15,5*15,5*56	19.515	2,38	28	3,15	76%

Gráfico #16



Se puede observar que la resistencia a la flexión de las vigas con árido grueso natural no cumplen con la resistencia requerida, teniendo un porcentaje de cumplimiento de 78%.

En el gráfico #16, se puede observar la tendencia de la resistencia a la flexión adquirida a los 28 días, comparando con el árido natural, existe comportamiento menor.

**Concreto con 100% de árido grueso reciclado.-**

En la tabla #93, se observan los resultados de los ensayos a compresión de los cilindros.



### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ELABORADO CON 100% DE ÁRIDO GRUESO RECICLADO.

TABLA #93

FECHA DE CONFECCIÓN	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO CIL. (cm)	CARGA DE ROTURA (Kg)	FATIGA DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD (días)	FATIGA REQUERIDA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% ALCANZADO
28/8/2012	4/9/2012	15,1	30.892	173	7	210	82%
28/8/2012	4/9/2012	15,1	29.960	167	7	210	80%
28/8/2012	11/9/2012	15,2	36.014	198	14	210	95%
28/8/2012	11/9/2012	15,1	37.170	208	14	210	99%
28/8/2012	25/9/2012	15,2	42.950	237	28	210	113%
28/8/2012	25/9/2012	15,3	44.620	243	28	210	116%

Se puede observar que la resistencia a la compresión del cilindro cumple con la resistencia requerida en un 116%.

En el gráfico #17, se puede observar la tendencia de la resistencia adquirida a los 28 días, comparando con el árido natural, existe un comportamiento en un principio menor y luego tiende a ser similar para al final ser nuevamente menor.

En la tabla #94, se observan los resultados de los ensayos a flexión de las vigas.

### RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ELABORADO CON 100% DE ÁRIDO GRUESO RECICLADO.

TABLA #94

FECHA DE CONFECCIÓN	FECHA DE ROTURA	DIMENSIONES VIGA (cm)	CARGA DE ROTURA (N)	MODULO DE RUPTURA EN Mpa.	EDAD (días)	MODULO DE RUPTURA REQUERIDO EN Mpa.	% ALCANZADO
28/8/2012	4/9/2012	15,5*15,5*51	14.646	1,79	7	3,15	57%
28/8/2012	4/9/2012	15,5*15,5*52	14.358	1,75	7	3,15	56%
28/8/2012	11/9/2012	15,5*15,5*53	15.526	1,90	14	3,15	60%
28/8/2012	11/9/2012	15,5*15,5*54	15.696	1,92	14	3,15	61%
28/8/2012	25/9/2012	15,5*15,5*55	18.192	2,22	28	3,15	71%
28/8/2012	25/9/2012	15,5*15,5*56	18.829	2,30	28	3,15	73%

Se puede observar que la resistencia a la flexión de las vigas con árido grueso natural no cumplen con la resistencia requerida, teniendo un porcentaje de cumplimiento de 73%. Ver imagen 45.

Gráfico #17

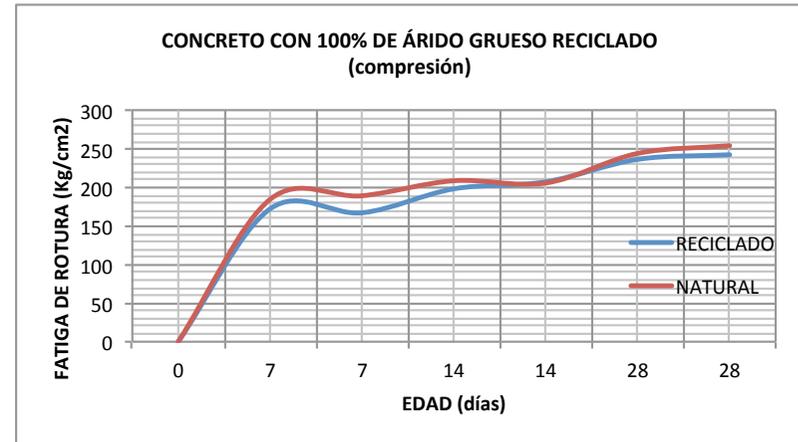
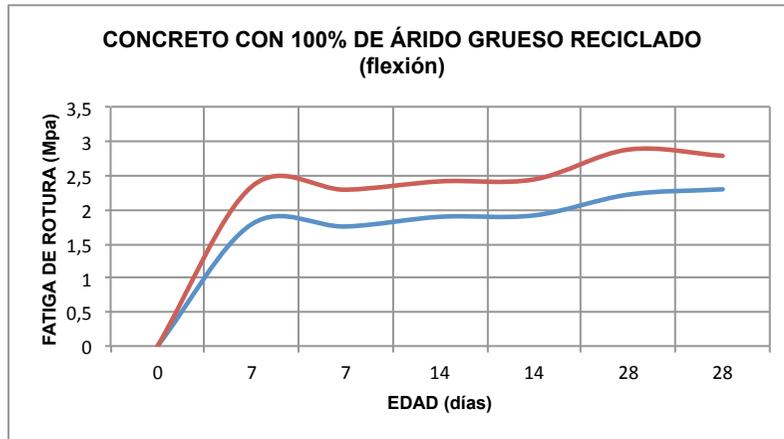


Imagen 45.-  
Rotura de viga 100% árido reciclado.

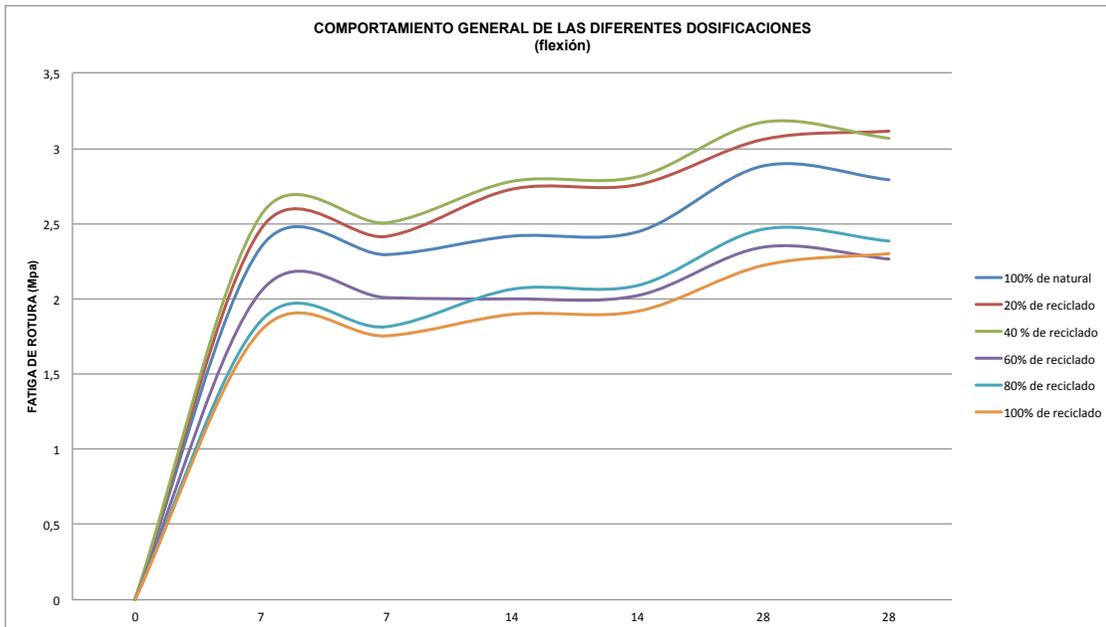
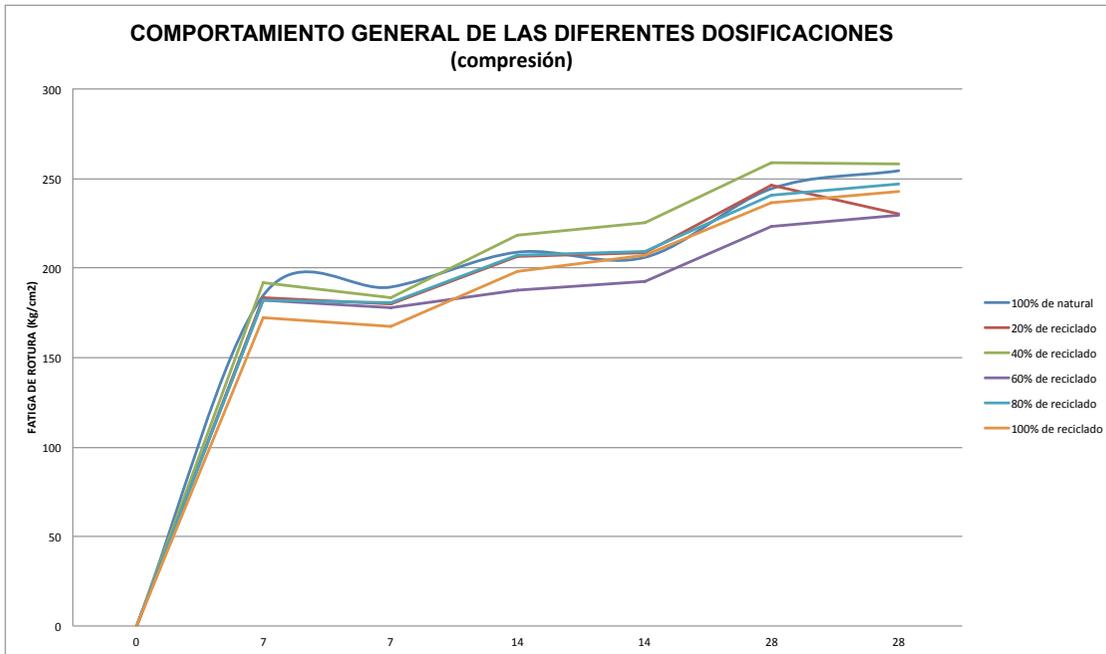
AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



Gráfico #18



En el gráfico #18, se puede observar la tendencia de la resistencia a la flexión adquirida a los 28 días, comparando con el árido natural, existe comportamiento menor.





## CAPITULO 6.- CONCLUSIONES

### 6.1 CAPITULO 1.- LINEAMIENTO.

Es importante tener claro el campo de acción de la investigación, “un adecuado planteamiento del problema es la mitad de la solución”<sup>51</sup>, plantear bien un problema no es sino afinar y estructurar más formalmente la idea de la investigación. El paso de la idea al planteamiento del problema en este caso, tomo un tiempo considerable, debido a que se tubo que empaparse bien con el tema y sus diferentes consecuencias, analizando diferentes puntos de vista, hasta encontrar el lineamiento correcto.

La investigación pretende elaborar una innovación en la tecnología del concreto con áridos reciclados de 210kg/cm<sup>2</sup> de resistencia aplicado a la vivienda, de donde es importante el estudio de los áridos gruesos reciclados de escombros de construcción para la elaboración de concreto.

La selección del tema responde a un problema latente en nuestro medio, con el uso indiscriminado que se tiene con la explotación de los áridos, y la necesidad de alternativas de uso de este material que conlleve a minimizar su consumo.

Para la selección de este tema se tubo que tener en cuenta tres aspectos importantes, los cuales están relacionados entre si, el primero son los objetivos que persigue la investigación, el segundo son las preguntas

51 CARVAJAL Lizardo, Metodología de la Investigación. Editorial Faid. Colombia - Bogotá. 1984 - 1992



que se tiene que hacer en referencia al proposito de la investigación y un adecuado procedimiento para la realización del mismo.

Estos tres aspectos se ven reflejados en lo siguiente:

- Los objetivos generales y específicos.
- Hipótesis.
- Metodología.

El tema seleccionado y su planteamiento responde adecuadamente a estos tres aspectos importantes, teniendo fundamentos necesarios para realizar la investigación y un claro proposito a alcanzar.

## 6.2 CAPITULO 2.- ETAPA PRELIMINAR.

En este capitulo se realizó un zondeo de los residuos de construcción que generan las empresas de construcción, teniendo como punto de partida su origen, estos residuos constituidos básicamente por tierras y áridos mezclados, piedras, restos de hormigón, ladrillos, cristales, restos de pavimentos asfálticos, materiales refractarios, plásticos, yesos y maderas, se originan de sobrantes al momento de utilizarlo como materia prima en una obra, estos residuos “Según un estudio realizado el 11 de octubre de 2011, por parte de la EMAC”, como parte de un analisis previo a la reubicación de las escombreras en la ciudad, se establecieron datos importantes de cantidades que produce la ciudad.

Ladrillos, azulejos y otros cerámicos.	54%
Hormigón.	12%
Piedra.	5%
Arena, grava y otros áridos.	4%
Madera.	4%
Vidrio.	0,50%
Plástico.	1,50%
Metales.	2,50%
Asfalto.	5%
Yeso.	0,20%
Papel.	0,30%
Basura.	7%
Otros.	4%



De estos datos se puede observar que el concreto es el segundo material que se genera como residuo a ser desechado en la ciudad y por tal motivo es consecuente que se realice una investigación para reutilizar este material.

Es importante recalcar que el concreto esta compuesto por material granular que constituye el mayor volumen en la mezcla para su preparación, y esto a su vez debe estar compuesto, como mínimo, de dos porciones de tamaños diferentes de árido grueso y el árido fino.

Las normas ASTM para agregados de concreto son muy importantes para poder obtener buenos resultados en la fabricación del concreto de los cuales enumeramos a continuación:

1. Buena gradación granulométrica.
2. Bajo contenido del material muy fino en los áridos.
3. Rugosidad de la superficie de los áridos.

Dentro de la extracción de áridos para la elaboración de concreto pudimos observar que ha ido en aumento en el Ecuador en los últimos años. La roca y piedra que comprende materiales como caliza, mármol, yeso, piedra pómez, es el grupo de minerales no metálicos que mayor producción se realiza en el Ecuador con un crecimiento del 235,5% entre el año 1998 a 2010, pasando de 3.743 toneladas de producción a 8.813 toneladas.

### **6.3 CAPITULO 3.- ANÁLISIS DE LOS MATERIALES RECICLABLES PARA LA OBTENCIÓN DE LOS ÁRIDOS A UTILIZAR.**

En este capítulo se analizó en primer lugar las características de los residuos de construcción y demolición (RCD), teniendo como principal característica su origen, estos llegan a producirse durante una construcción, encontrando la existencia de dos tipos:

- Los RCD (fragmentos) de elementos prefabricados, como materiales de cerámica, bloques de cemento, demoliciones



localizadas, etc.

- Los RCD (restos) de materiales elaborados en la obra, como hormigón y argamasas, que contienen cemento, cal, arena y piedra.

La siguiente característica es la clasificación de los RCD, para lo cual se debe comenzar por un estudio en el que se evalúe lo siguiente:

- Origen de los materiales. (procedencia de la construcción)
- Generación de los residuos con análisis del sector generador, localización geográfica, cuantificación de la generación.
- Recolección y transporte.
- Disposición final.
- Composición.

Una vez realizado esta evaluación, se procede a identificar los RCD, en materiales que son reciclables para la producción de agregados, estos pertenecen a dos grupos, existiendo un tercer grupo que no se considera reciclable para la producción de agregados:

- Grupo I - materiales compuestos de cemento, cal, arena y piedra: hormigón, argamasas, bloques de concreto.
- Grupo II - materiales cerámicos: tejas, tubos, ladrillos, baldosas.
- Grupo III - RCD no reciclables para agregado de construcción, está compuesto por materiales como: tierra, yeso, metal, madera, papel, plástico, materia orgánica y vidrio. De esos materiales, algunos pueden ser seleccionados y encauzados para otros usos. Así, los embalajes de papel y cartón, madera (combustible), y el mismo vidrio y el metal pueden ser recogidos para reuso o reciclaje.

Y como paso siguiente es la clasificación, en el mejor de los casos se lo realiza mediante su granulometría, para ello se necesita equipos mecánicos de cribado, como son los siguientes:

- Parrillas inclinadas.



- Precribadores vibrantes o “grizzly”.
- Cribas vibrantes.

Ya clasificados, se procede con la trituración de los materiales a reciclar, para ello se puede utilizar los siguientes equipos:

- Trituradoras de Mandibulas.
- Trituradoras de Conos.
- Trituradoras o Molinos de Impacto.

El siguiente análisis que se realizó en este capítulo, corresponde a las características de los residuos triturados, en donde se debe tener presente los siguientes puntos:

Mortero Adherido.- La cantidad de mortero adherido hace que los áridos reciclados presenten propiedades distintas a los naturales que se reflejan en un aumento de la absorción de agua, menor densidad, menor resistencia, menor dureza y menor resistencia a la fragmentación.

Granulometría.- Para la clasificación por tamaño de las distintas fracciones.

Forma y Textura Superficial.

Densidad.- La densidad del árido reciclado es menor que la del árido convencional ya que el primero presenta una capa de mortero adherido cuya densidad es inferior.

Absorción.- La absorción en los áridos reciclados alcanza valores muy superiores a los obtenidos en los áridos naturales. Esto es debido a la cantidad de mortero adherido que presentan dichos áridos.

Contenido de Cloruros.- El contenido de cloruros que pueden presentar los áridos reciclados puede ser importante cuando provengan de obras en las que hayan estado en contacto con sales fundentes como, por ejemplo, en pasos de alta montaña, cuando hayan estado en contacto directo con agua del mar y si en la fabricación del hormigón se empleó



como aditivo algún producto acelerante.

Contenido de Sulfatos.- La cantidad de sulfatos contenida en el árido reciclado en el caso de hormigones procedentes de edificación, a la presencia de yeso como contaminante.

Reacción Alkali - Arido.- Determinados tipos de áridos reciclados que contengan sílice reactiva pueden reaccionar con los álcalis del cemento portland formando un gel que provoca expansiones peligrosas en el concreto.

Contaminantes e Impurezas.- La presencia de impurezas y contaminantes en los áridos reciclados perjudican notablemente las propiedades del hormigón fabricado con ellos.

#### **6.4 CAPITULO 4.- ANÁLISIS DE PROCESOS REALIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON ÁRIDOS RECICLADOS**

Con la totalidad de los estudios presentados en este capítulo se analizó el proceso de fabricación de concreto con áridos reciclados, a través de diferentes aplicaciones de este material, se obtuvieron diferentes resultados que dependían de los ensayos en laboratorio y su aplicabilidad. La información obtenida como resultado de los diferentes estudios son de suma importancia dado que es la primera impresión que se tiene de la fabricación de concreto con áridos reciclados, los diferentes procedimientos utilizados en la fabricación servirán como punto de partida a considerar en el desarrollo del concreto como fase experimental.

La mayor parte de procedimientos coinciden en que el árido reciclado, producto de la demolición de pavimentos de concreto, tiene ciertas desventajas físicas y mecánicas con respecto a los áridos naturales, debido a que es un árido compuesto por dos materiales, un árido natural y el mortero adherido, lo que conlleva el tener un nuevo material con características diferentes y desventajas mecánicas, tales como la porosidad, absorción, adherencia a los nuevos elementos que conforman el concreto, baja densidad y efectos de baja resistencia un



tanto aceptable a la compresión, todo esto depende de las adiciones de árido reciclado que tenga la preparación de la mezcla de concreto.

### **6.5 DESARROLLO Y ELABORACIÓN DE MUESTRAS DEL CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS UTILIZANDO DIFERENTES DOSIFICACIONES SEGÚN LA SUSTITUCIÓN DEL ÁRIDO NATURAL POR EL ÁRIDO RECICLADO.**

En este capítulo se realizaron las mezclas a ser evaluadas tanto en su estado fresco como resistencia a la compresión y flexión, un aspecto importante que se debe tomar en cuenta al realizar estos procesos son los ajustes que se tienen que realizar a las granulometrías de los áridos naturales y reciclados, en donde se puede evidenciar dos granulometrías diferentes y del mismo modo serán las mezclas y sus propiedades, por tal motivo las dos no se pueden comparar teniendo que realizar un ajuste.

Los dos tipos de áridos, van a contener un mismo tipo de árido fino natural, al momento de preparar las mezclas, es entre estos áridos donde se realizara el ajuste, llegando a tener una “granulometría ideal”, el cual consiste en combinar los agregados de tal forma, que la granulometría del conjunto llegue a obtener una máxima densidad, teniendo cuidado en no caer en problemas de trabajabilidad.

Se debe tener en cuenta que los factores principales que rigen en una granulometría compacta de los agregados son: la superficie del agregado, que determina la cantidad de agua necesaria para humedecer todos los cuerpos sólidos; el volumen relativo ocupado por el agregado; la trabajabilidad de la mezcla y la tendencia a la segregación.

El ajuste a las granulometrías se obtuvo con un 55% de árido grueso natural y un 45% de árido fino natural; 72% de árido grueso reciclado y un 28% de árido fino natural, esto se logro mediante la comparación del total de porcentaje que pasa de los áridos gruesos y finos de los distintos tamices con respecto al limite establecido.

Los ajustes confirman que la comparación que se realizará a los concretos con áridos gruesos naturales con respecto a los de áridos



gruesos reciclados, se lo hará de forma adecuada, ya que cada uno de los concretos contendrá una misma relación de agregados gruesos y finos con respecto a sus granulometrías.

Un aspecto importante previa a la elaboración de las mezclas es considerar que el árido reciclado presenta poros en la superficie y en su interior, debido al proceso de trituración y a la pasta de cemento adherida, estos facilitan el ingreso de humedad en donde la cantidad y velocidad de penetración dependen de las características de los poros tales como su continuidad, dimensión y volumen.

La absorción del árido reciclado pasa por la capacidad de adquirir agua o humedad a través de sus poros, por tal motivo es preciso tomar en cuenta el estado del árido reciclado una vez que se lo utilice, ya que el agua contenida llega a producir alteraciones en las mezclas debido a su alta porosidad.

El diseño de los concretos se realizó con intervalos de remplazo del árido reciclado por el natural de 0% - 20% - 40% - 60% - 80% - 100%, para poder ir determinando su comportamiento, en donde de acuerdo con los resultados el intervalo que mejor se comportó fue el de 60% de árido natural y 40% de árido reciclado, de acuerdo a los siguientes resultados.

FECHA DE CONFECCIÓN	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO CIL. (cm)	CARGA DE ROTURA (Kg)	FATIGA DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD (días)	FATIGA REQUERIDA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% ALCANZADO
28/8/2012	4/9/2012	15,2	34.800	192	7	210	91%
28/8/2012	4/9/2012	15,3	33.750	184	7	210	87%
28/8/2012	11/9/2012	15,3	40.190	219	14	210	104%
28/8/2012	11/9/2012	15,3	41.480	226	14	210	107%
28/8/2012	25/9/2012	15,2	47.010	259	28	210	123%
28/8/2012	25/9/2012	15,2	46.870	258	28	210	123%

Aquí se observan los resultados de los ensayos a compresión de los cilindros en donde la resistencia a la compresión del cilindro cumple con la resistencia requerida en un 123%.

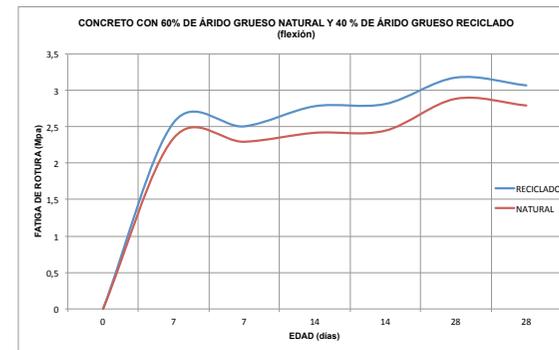
Una manera de evaluar su comportamiento fue con relación al concreto elaborado con 100% de árido natural, en donde gráficamente se pudo realizar esa comparación, obteniendo un resultado favorable al desempeño de la mezcla realizada.



El resultado que se obtuvo de la resistencia a la flexión de las vigas con árido grueso natural cumplen con la resistencia requerida, teniendo un porcentaje de cumplimiento de 101%, siendo el mejor comportamiento de todas las mezclas realizadas.

FECHA DE CONFECCIÓN	FECHA DE ROTURA	DIMENSIONES VIGA (cm)	CARGA DE ROTURA (N)	MODULO DE RUPTURA EN Mpa.	EDAD (días)	MODULO DE RUPTURA REQUERIDO EN Mpa.	% ALCANZADO
28/8/2012	4/9/2012	15,5*15,5*51	20.918	2,56	7	3,15	81%
28/8/2012	4/9/2012	15,5*15,5*52	20.508	2,51	7	3,15	80%
28/8/2012	11/9/2012	15,5*15,5*53	22.764	2,78	14	3,15	88%
28/8/2012	11/9/2012	15,5*15,5*54	23.015	2,81	14	3,15	89%
28/8/2012	25/9/2012	15,5*15,5*55	25.984	3,17	28	3,15	101%
28/8/2012	25/9/2012	15,5*15,5*56	25.105	3,07	28	3,15	97%

La relación con respecto al concreto elaborado con 100% de árido natural, se obtuvo un resultado favorable al desempeño de la mezcla realizada.





## 6.6 CONCLUSIONES GENERALES.

Cuando los residuos de concreto provienen de roturas o restos de pavimentos de hormigón, existe un antecedente muy favorable debido a la resistencia a la cual fue diseñado ese concreto y por la poca contaminación existente. Sin embargo, se debe garantizar que su triturado sea el satisfactorio, se puede obtener concreto de buenas características que dependerá del diseño de mezcla y de los intervalos de remplazo.

1.- Los ensayos realizados a los áridos fueron correctos y adecuados para su utilización en el objeto del proyecto, ya que se asemejaban bastante a un árido convencional.

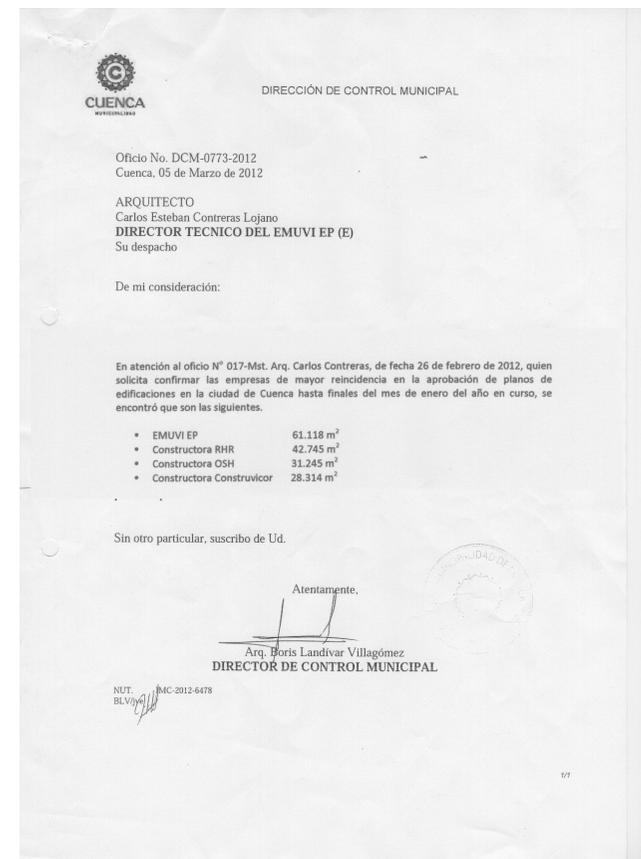
2.- El diseño de mezclas debe tener un análisis de las granulometrias de los áridos gruesos, ya que los dos deberan ser semejantes en un grado proporcional para que las muestras se puedan comparar.

3.- Los resultados de los ensayos de compresión y flexión, demuestran que el remplazo de árido reciclado por el natural en un 40% alcanzan niveles altos de resistencia inclusive superando al hormigón de áridos naturales



## CAPITULO 7.- ANEXOS

### 7.1 ANEXO 1.





ANEXO 2.

**CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS**  
 Universidad de Cuenca Maestría en Construcciones

**ENCUESTA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCION** N° 1

OBRA: RIELES DE MOYAT.

CONSTRUCTOR: EMUVI EP.

DIRECCION: 1<sup>ra</sup> MAYO Y COZCO. FECHA: 12/FEB/12

**MATERIALES DE CONSTRUCCION**

ESTRUCTURA: Hormigón  Acero Prefabricados en Hormigón Otro

PAREDES: Arcilla Maciza Arcilla Hueca Hormigón  Prefabricados Otro

CUBIERTA: Teja  Fibrocemento  Hormigón Otro

**RESIDUOS DE CONSTRUCCION**

CONVENCIONES  
 SI (S):  
 PARCIALMENTE (P):  
 NO (N):

	S	P	N
1. LIMPIEZA DE OBRA			
1.1. La obra se mantiene limpia de residuos de construcción y demolición todos los días		<input checked="" type="checkbox"/>	
2. CLASIFICACION DE RESIDUOS			
2.1. Se clasifican los materiales considerados residuos		<input checked="" type="checkbox"/>	
2.2. Los constructores creen importante clasificar los residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
3. DESALOJO DE RESIDUOS			
3.1. Los residuos son desalojados una vez por semana	<input checked="" type="checkbox"/>		
3.2. Tienen autorización de la EMAC (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca) para el desalojo	<input checked="" type="checkbox"/>		
3.3. El constructor conoce el lugar donde se depositara el desalojo de los residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
4. RECICLADO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION			
4.1. El constructor tiene conocimiento sobre el reciclado de los residuos de construcción		<input checked="" type="checkbox"/>	
4.2. El constructor tiene conocimiento sobre la elaboración de concreto con áridos reciclados			<input checked="" type="checkbox"/>
5. ARIDOS PARA EL CONCRETO			
5.1. El constructor ha sufrido alguna vez desabastecimiento de aridos para elaborar concreto	<input checked="" type="checkbox"/>		
5.2. Alguna vez ha tenido problemas con la calidad de los áridos para eleborar concreto		<input checked="" type="checkbox"/>	

OBSERVACIONES:  
LA OBRA SE DESPERTA EN MUY BUENAS CONDICIONES

ARR. CARLOS CONTRERAS  
 ENCUESTADOR:

[Firma]  
 FIRMA:

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



ANEXO 2.

**CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS**  
 Universidad de Cuenca Maestría en Construcciones

**ENCUESTA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCION** N° 9

OBRA: Los Rios

CONSTRUCTOR: Franz E. P.

DIRECCION: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

**MATERIALES DE CONSTRUCCION**

ESTRUCTURA: Hormigón  Acero \_\_\_\_\_ Prefabricados en Hormigón \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

PAREDES: Arcilla Maciza \_\_\_\_\_ Arcilla Hueca \_\_\_\_\_ Hormigon \_\_\_\_\_ Prefabricados  Otro \_\_\_\_\_

CUBIERTA: Teja  Fibrocemento  Hormigón \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

**RESIDUOS DE CONSTRUCCION**

CONVENCIONES  
 SI (S):  
 PARCIALMENTE (P):  
 NO (N):

	S	P	N
<b>1. LIMPIEZA DE OBRA</b>			
1.1. La obra se mantiene limpia de residuos de construcción y demolición todos los días		<input checked="" type="checkbox"/>	
<b>2. CLASIFICACION DE RESIDUOS</b>			
2.1. Se clasifican los materiales considerados residuos		<input checked="" type="checkbox"/>	
2.2. Los constructores creen importante clasificar los residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
<b>3. DESALOJO DE RESIDUOS</b>			
3.1. Los residuos son desalojados una vez por semana		<input checked="" type="checkbox"/>	
3.2. Tienen autorización de la EMAC (Empresa Municipal de Aceo de Cuenca) para el desalojo		<input checked="" type="checkbox"/>	
3.3. El constructor conoce el lugar donde se depositara el desalojo de los residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
<b>4. RECICLADO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION</b>			
4.1. El constructor tiene conocimiento sobre el reciclado de los residuos de construcción		<input checked="" type="checkbox"/>	
4.2. El constructor tiene conocimiento sobre la elaboración de concreto con áridos reciclados	<input checked="" type="checkbox"/>		
<b>5. ARIDOS PARA EL CONCRETO</b>			
5.1. El constructor ha sufrido alguna vez desabastecimiento de aridos para elaborar concreto	<input checked="" type="checkbox"/>		
5.2. Alguna vez ha tenido problemas con la calidad de los áridos para eleborar concreto		<input checked="" type="checkbox"/>	

OBSERVACIONES:

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

ENCUESTADOR: Katherine Tones FIRMA:



## ANEXO 2.

CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS	
Universidad de Cuenca	Maestría en Construcciones
<b>ENCUESTA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCION</b> N° 3	
OBRA: Condominio los Olivos	
CONSTRUCTOR: Emui F.P.	
DIRECCION:	FECHA:
<b>MATERIALES DE CONSTRUCCION</b>	
ESTRUCTURA: Hormigón <input checked="" type="checkbox"/> Acero <input checked="" type="checkbox"/> Prefabricados en Hormigón <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	
PAREDES: Arcilla Maciza <input type="checkbox"/> Arcilla Hueca <input type="checkbox"/> Hormigón <input checked="" type="checkbox"/> Prefabricados <input checked="" type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	
CUBIERTA: Teja <input checked="" type="checkbox"/> Fibrocemento <input checked="" type="checkbox"/> Hormigón <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCION</b>	
CONVENCIONES	
SI (S):	
PARCIALMENTE (P):	
NO (N):	
	S      P      N
1. LIMPIEZA DE OBRA	
1.1. La obra se mantiene limpia de residuos de construcción y demolición todos los días	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2. CLASIFICACION DE RESIDUOS	
2.1. Se clasifican los materiales considerados residuos	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
2.2. Los constructores creen importante clasificar los residuos	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3. DESALOJO DE RESIDUOS	
3.1. Los residuos son desalojados una vez por semana	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.2. Tienen autorización de la EMAC (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca) para el desalojo	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.3. El constructor conoce el lugar donde se depositara el desalojo de los residuos	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4. RECICLADO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION	
4.1. El constructor tiene conocimiento sobre el reciclado de los residuos de construcción	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4.2. El constructor tiene conocimiento sobre la elaboración de concreto con áridos reciclados	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5. ARIDOS PARA EL CONCRETO	
5.1. El constructor ha sufrido alguna vez desabastecimiento de aridos para elaborar concreto	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.2. Alguna vez ha tenido problemas con la calidad de los áridos para eleborar concreto	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
OBSERVACIONES:	
Christian Escobar	
ENCUESTADOR:	FIRMA:



ANEXO 2.

**CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS**  
 Universidad de Cuenca Maestría en Construcciones

**ENCUESTA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCION** Nº **4**

OBRA: Los Girasoles

CONSTRUCTOR: Franzi F.P.

DIRECCION: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

**MATERIALES DE CONSTRUCCION**

ESTRUCTURA: Hormigón Acero  Prefabricados en Hormigón Otro

PAREDES: Arcilla Maciza Arcilla Hueca Hormigón  Prefabricados Otro

CUBIERTA: Teja  Fibrocemento  Hormigón Otro

**RESIDUOS DE CONSTRUCCION**

CONVENCIONES  
 SI (S):  
 PARCIALMENTE (P):  
 NO (N):

	S	P	N
<b>1. LIMPIEZA DE OBRA</b>			
1.1. La obra se mantiene limpia de residuos de construcción y demolición todos los días		<input checked="" type="checkbox"/>	
<b>2. CLASIFICACION DE RESIDUOS</b>			
2.1. Se clasifican los materiales considerados residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
2.2. Los constructores creen importante clasificar los residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
<b>3. DESALOJO DE RESIDUOS</b>			
3.1. Los residuos son desalojados una vez por semana		<input checked="" type="checkbox"/>	
3.2. Tienen autorización de la EMAC (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca) para el desalojo		<input checked="" type="checkbox"/>	
3.3. El constructor conoce el lugar donde se depositara el desalojo de los residuos		<input checked="" type="checkbox"/>	
<b>4. RECICLADO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION</b>			
4.1. El constructor tiene conocimiento sobre el reciclado de los residuos de construcción	<input checked="" type="checkbox"/>		
4.2. El constructor tiene conocimiento sobre la elaboración de concreto con áridos reciclados	<input checked="" type="checkbox"/>		
<b>5. ARIDOS PARA EL CONCRETO</b>			
5.1. El constructor ha sufrido alguna vez desabastecimiento de áridos para elaborar concreto		<input checked="" type="checkbox"/>	
5.2. Alguna vez ha tenido problemas con la calidad de los áridos para eleborar concreto		<input checked="" type="checkbox"/>	

OBSERVACIONES:  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

ENCUESTADOR: Christian San Martín FIRMA:



ANEXO 2.

**CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS**  
 Universidad de Cuenca Maestría en Construcciones

**ENCUESTA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCION** N° 5

OBRA: Los Hornos

CONSTRUCTOR: Emilio E.P.

DIRECCION: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

**MATERIALES DE CONSTRUCCION**

ESTRUCTURA: Hormigón  Acero  Prefabricados en Hormigón  Otro

PAREDES: Arcilla Maciza  Arcilla Hueca  Hormigón  Prefabricados  Otro

CUBIERTA: Teja  Fibrocemento  Hormigón  Otro

**RESIDUOS DE CONSTRUCCION**

CONVENCIONES  
 SI (S):  
 PARCIALMENTE (P):  
 NO (N):

	S	P	N
<b>1. LIMPIEZA DE OBRA</b>			
1.1. La obra se mantiene limpia de residuos de construcción y demolición todos los días		<input checked="" type="checkbox"/>	
<b>2. CLASIFICACION DE RESIDUOS</b>			
2.1. Se clasifican los materiales considerados residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
2.2. Los constructores creen importante clasificar los residuos		<input checked="" type="checkbox"/>	
<b>3. DESALOJO DE RESIDUOS</b>			
3.1. Los residuos son desalojados una vez por semana		<input checked="" type="checkbox"/>	
3.2. Tienen autorización de la EMAC (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca) para el desalojo		<input checked="" type="checkbox"/>	
3.3. El constructor conoce el lugar donde se depositara el desalojo de los residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
<b>4. RECICLADO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION</b>			
4.1. El constructor tiene conocimiento sobre el reciclado de los residuos de construcción	<input checked="" type="checkbox"/>		
4.2. El constructor tiene conocimiento sobre la elaboración de concreto con áridos reciclados	<input checked="" type="checkbox"/>		
<b>5. ARIDOS PARA EL CONCRETO</b>			
5.1. El constructor ha sufrido alguna vez desabastecimiento de aridos para elaborar concreto		<input checked="" type="checkbox"/>	
5.2. Alguna vez ha tenido problemas con la calidad de los áridos para elaborar concreto	<input checked="" type="checkbox"/>		

OBSERVACIONES:

\_\_\_\_\_  
 ENCUESTADOR: Gabriel Carpio

\_\_\_\_\_  
 FIRMA: *Emilio E.P.*

AUTOR: Arq. Carlos Contreras Lojano



ANEXO 3.

**CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS**  
 Universidad de Cuenca Maestría en Construcciones

**ENCUESTA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCION** Nº 11

OBRA: San Vicente

CONSTRUCTOR: RHR

DIRECCION: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

**MATERIALES DE CONSTRUCCION**

ESTRUCTURA: Hormigón  Acero \_\_\_\_\_ Prefabricados en Hormigón  Otro \_\_\_\_\_

PAREDES: Arcilla Maciza \_\_\_\_\_ Arcilla Hueca  Hormigón \_\_\_\_\_ Prefabricados \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

CUBIERTA: Teja \_\_\_\_\_ Fibrocemento  Hormigón  Otro \_\_\_\_\_

**RESIDUOS DE CONSTRUCCION**

CONVENCIONES  
 SI (S):  
 PARCIALMENTE (P):  
 NO (N):

	S	P	N
1. LIMPIEZA DE OBRA			
1.1. La obra se mantiene limpia de residuos de construcción y demolición todos los días			<input checked="" type="checkbox"/>
2. CLASIFICACION DE RESIDUOS			
2.1. Se clasifican los materiales considerados residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
2.2. Los constructores creen importante clasificar los residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
3. DESALOJO DE RESIDUOS			
3.1. Los residuos son desalojados una vez por semana			<input checked="" type="checkbox"/>
3.2. Tienen autorización de la EMAC (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca) para el desalojo			<input checked="" type="checkbox"/>
3.3. El constructor conoce el lugar donde se depositara el desalojo de los residuos			<input checked="" type="checkbox"/>
4. RECICLADO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION			
4.1. El constructor tiene conocimiento sobre el reciclado de los residuos de construcción			<input checked="" type="checkbox"/>
4.2. El constructor tiene conocimiento sobre la elaboración de concreto con áridos reciclados			<input checked="" type="checkbox"/>
5. ARIDOS PARA EL CONCRETO			
5.1. El constructor ha sufrido alguna vez desabastecimiento de aridos para elaborar concreto			<input checked="" type="checkbox"/>
5.2. Alguna vez ha tenido problemas con la calidad de los áridos para eleborar concreto			<input checked="" type="checkbox"/>

OBSERVACIONES:  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

ENCUESTADOR: Johán Fogaric FIRMA:



## ANEXO 3.

CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS			
Universidad de Cuenca		Maestría en Construcciones	
ENCUESTA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCION			Nº 12
OBRA: Vista al Rio			
CONSTRUCTOR: RHR			
DIRECCION:			FECHA:
MATERIALES DE CONSTRUCCION			
ESTRUCTURA:	Hormigón	Acero	Prefabricados en Hormigón Otro
PAREDES:	Arcilla Maciza	Arcilla Hueca	Hormigón Prefabricados Otro
CUBIERTA:	Teja	Fibrocemento	Hormigón Otro
RESIDUOS DE CONSTRUCCION			
CONVENCIONES			
SI (S):			
PARCIALMENTE (P):			
NO (N):			
1. LIMPIEZA DE OBRA	S	P	N
1.1. La obra se mantiene limpia de residuos de construcción y demolición todos los días	/		
2. CLASIFICACION DE RESIDUOS			
2.1. Se clasifican los materiales considerados residuos	/		
2.2. Los constructores creen importante clasificar los residuos	/		
3. DESALOJO DE RESIDUOS			
3.1. Los residuos son desalojados una vez por semana		/	
3.2. Tienen autorización de la EMAC (Empresa Municipal de Aceo de Cuenca) para el desalojo	/	/	
3.3. El constructor conoce el lugar donde se depositara el desalojo de los residuos	/	/	
4. RECICLADO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION			
4.1. El constructor tiene conocimiento sobre el reciclado de los residuos de construcción	/	/	
4.2. El constructor tiene conocimiento sobre la elaboración de concreto con aridos reciclados	/	/	
5. ARIDOS PARA EL CONCRETO			
5.1. El constructor ha sufrido alguna vez desabastecimiento de aridos para elaborar concreto	/	/	
5.2. Alguna vez ha tenido problemas con la calidad de los áridos para eleborar concreto	/	/	
OBSERVACIONES:			
ENCUESTADOR: <i>Nahima Falconi</i>		FIRMA: <i>[Signature]</i>	



ANEXO 3.

**CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS**  
 Universidad de Cuenca Maestría en Construcciones

**ENCUESTA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCION** Nº 13

OBRA: Los Obveros

CONSTRUCTOR: AHA

DIRECCION: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

**MATERIALES DE CONSTRUCCION**

ESTRUCTURA: Hormigón  Acero \_\_\_\_\_ Prefabricados en Hormigón  Otro \_\_\_\_\_

PAREDES: Arcilla Maciza  Arcilla Hueca \_\_\_\_\_ Hormigón  Prefabricados \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

CUBIERTA: Teja  Fibrocemento  Hormigón \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

**RESIDUOS DE CONSTRUCCION**

CONVENCIONES  
 SI (S):  
 PARCIALMENTE (P):  
 NO (N):

	S	P	N
<b>1. LIMPIEZA DE OBRA</b>			
1.1. La obra se mantiene limpia de residuos de construcción y demolición todos los días			<input checked="" type="checkbox"/>
<b>2. CLASIFICACION DE RESIDUOS</b>			
2.1. Se clasifican los materiales considerados residuos			<input checked="" type="checkbox"/>
2.2. Los constructores creen importante clasificar los residuos			<input checked="" type="checkbox"/>
<b>3. DESALOJO DE RESIDUOS</b>			
3.1. Los residuos son desalojados una vez por semana			<input checked="" type="checkbox"/>
3.2. Tienen autorización de la EMAC (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca) para el desalojo			<input checked="" type="checkbox"/>
3.3. El constructor conoce el lugar donde se depositara el desalojo de los residuos			<input checked="" type="checkbox"/>
<b>4. RECICLADO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION</b>			
4.1. El constructor tiene conocimiento sobre el reciclado de los residuos de construcción			<input checked="" type="checkbox"/>
4.2. El constructor tiene conocimiento sobre la elaboración de concreto con áridos reciclados			<input checked="" type="checkbox"/>
<b>5. ARIDOS PARA EL CONCRETO</b>			
5.1. El constructor ha sufrido alguna vez desabastecimiento de áridos para elaborar concreto			<input checked="" type="checkbox"/>
5.2. Alguna vez ha tenido problemas con la calidad de los áridos para eleborar concreto			<input checked="" type="checkbox"/>

OBSERVACIONES:  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

ENCUESTADOR: Mta. Alicia Solís FIRMA:



ANEXO 3.

**CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS**  
 Universidad de Cuenca Maestría en Construcciones

**ENCUESTA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCION** Nº 14

---

OBRA: San Diego

CONSTRUCTOR: RHR

DIRECCION: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

**MATERIALES DE CONSTRUCCION**

ESTRUCTURA: Hormigón  Acero  Prefabricados en Hormigón  Otro

PAREDES: Arcilla Maciza  Arcilla Hueca  Hormigón  Prefabricados  Otro

CUBIERTA: Teja  Fibrocemento  Hormigón  Otro

**RESIDUOS DE CONSTRUCCION**

CONVENCIONES  
 SI (S):  
 PARCIALMENTE (P):  
 NO (N):

	S	P	N
1. LIMPIEZA DE OBRA			
1.1. La obra se mantiene limpia de residuos de construcción y demolición todos los días			<input checked="" type="checkbox"/>
2. CLASIFICACION DE RESIDUOS			
2.1. Se clasifican los materiales considerados residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
2.2. Los constructores creen importante clasificar los residuos		<input checked="" type="checkbox"/>	
3. DESALOJO DE RESIDUOS			
3.1. Los residuos son desalojados una vez por semana			<input checked="" type="checkbox"/>
3.2. Tienen autorización de la EMAC (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca) para el desalojo	<input checked="" type="checkbox"/>		
3.3. El constructor conoce el lugar donde se depositara el desalojo de los residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
4. RECICLADO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION			
4.1. El constructor tiene conocimiento sobre el reciclado de los residuos de construcción		<input checked="" type="checkbox"/>	
4.2. El constructor tiene conocimiento sobre la elaboración de concreto con áridos reciclados		<input checked="" type="checkbox"/>	
5. ARIDOS PARA EL CONCRETO			
5.1. El constructor ha sufrido alguna vez desabastecimiento de aridos para elaborar concreto		<input checked="" type="checkbox"/>	
5.2. Alguna vez ha tenido problemas con la calidad de los áridos para eleborar concreto		<input checked="" type="checkbox"/>	

OBSERVACIONES:  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

ENCUESTADOR: Pablo Anaya FIRMA:



ANEXO 3.

**CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS**  
 Universidad de Cuenca Maestría en Construcciones

**ENCUESTA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCION** N° 15

OBRA: Emeralda

CONSTRUCTOR: RHR

DIRECCION: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

**MATERIALES DE CONSTRUCCION**

ESTRUCTURA: Hormigón  Acero  Prefabricados en Hormigón \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

PAREDES: Arcilla Maciza \_\_\_\_\_ Arcilla Hueca \_\_\_\_\_ Hormigón  Prefabricados \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

CUBIERTA: Teja  Fibrocemento \_\_\_\_\_ Hormigón  Otro \_\_\_\_\_

**RESIDUOS DE CONSTRUCCION**

CONVENCIONES  
 SI (S):  
 PARCIALMENTE (P):  
 NO (N):

	S	P	N
1. LIMPIEZA DE OBRA			
1.1. La obra se mantiene limpia de residuos de construcción y demolición todos los días		<input checked="" type="checkbox"/>	
2. CLASIFICACION DE RESIDUOS			
2.1. Se clasifican los materiales considerados residuos		<input checked="" type="checkbox"/>	
2.2. Los constructores creen importante clasificar los residuos		<input checked="" type="checkbox"/>	
3. DESALOJO DE RESIDUOS			
3.1. Los residuos son desalojados una vez por semana		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3.2. Tienen autorización de la EMAC (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca) para el desalojo		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3.3. El constructor conoce el lugar donde se depositara el desalojo de los residuos		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4. RECICLADO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION			
4.1. El constructor tiene conocimiento sobre el reciclado de los residuos de construcción		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4.2. El constructor tiene conocimiento sobre la elaboración de concreto con áridos reciclados		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5. ARIDOS PARA EL CONCRETO			
5.1. El constructor ha sufrido alguna vez desabastecimiento de aridos para elaborar concreto		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5.2. Alguna vez ha tenido problemas con la calidad de los áridos para elaborar concreto		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

OBSERVACIONES:  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

ENCUESTADOR: Juan Francisco Sanchez FIRMA: Juan Francisco Sanchez



## ANEXO 4.

CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS		Maestría en Construcciones		
Universidad de Cuenca				
ENCUESTA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCION		Nº	6	
OBRA: Los Andes				
CONSTRUCTOR: OSH				
DIRECCION:		FECHA:		
MATERIALES DE CONSTRUCCION				
ESTRUCTURA:	Hormigón <input checked="" type="checkbox"/>	Acero <input checked="" type="checkbox"/>	Prefabricados en Hormigón	Otro
PAREDES:	Arcilla Maciza <input checked="" type="checkbox"/>	Arcilla Hueca	Hormigón	Prefabricados
CUBIERTA:	Teja <input checked="" type="checkbox"/>	Fibrocemento <input checked="" type="checkbox"/>	Hormigón	Otro
RESIDUOS DE CONSTRUCCION				
CONVENCIONES				
SI (S):				
PARCIALMENTE (P):				
NO (N):				
1. LIMPIEZA DE OBRA		S	P	N
1.1. La obra se mantiene limpia de residuos de construcción y demolición todos los días	<input checked="" type="checkbox"/>			
2. CLASIFICACION DE RESIDUOS				
2.1. Se clasifican los materiales considerados residuos				<input checked="" type="checkbox"/>
2.2. Los constructores creen importante clasificar los residuos			<input checked="" type="checkbox"/>	
3. DESALOJO DE RESIDUOS				
3.1. Los residuos son desalojados una vez por semana	<input checked="" type="checkbox"/>			
3.2. Tienen autorización de la EMAC (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca) para el desalojo				<input checked="" type="checkbox"/>
3.3. El constructor conoce el lugar donde se depositara el desalojo de los residuos			<input checked="" type="checkbox"/>	
4. RECICLADO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION				
4.1. El constructor tiene conocimiento sobre el reciclado de los residuos de construcción	<input checked="" type="checkbox"/>			
4.2. El constructor tiene conocimiento sobre la elaboración de concreto con áridos reciclados	<input checked="" type="checkbox"/>			
5. ARIDOS PARA EL CONCRETO				
5.1. El constructor ha sufrido alguna vez desabastecimiento de aridos para elaborar concreto			<input checked="" type="checkbox"/>	
5.2. Alguna vez ha tenido problemas con la calidad de los áridos para eleborar concreto	<input checked="" type="checkbox"/>			
OBSERVACIONES:				
ENCUESTADOR: Valentina Cuesta		FIRMA:		



ANEXO 4.

CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS		Maestría en Construcciones		
Universidad de Cuenca		ENCUESTA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCION N° 7		
OBRA: Los Cipes-				
CONSTRUCTOR: OSH				
DIRECCION:	FECHA:			
MATERIALES DE CONSTRUCCION				
ESTRUCTURA:	Hormigón <input checked="" type="checkbox"/>	Acero <input checked="" type="checkbox"/>	Prefabricados en Hormigón <input type="checkbox"/>	
	Otro <input type="checkbox"/>			
PAREDES:	Arcilla Maciza <input type="checkbox"/>	Arcilla Hueca <input checked="" type="checkbox"/>	Hormigón <input type="checkbox"/>	
	Prefabricados <input type="checkbox"/>		Otro <input type="checkbox"/>	
CUBIERTA:	Teja <input checked="" type="checkbox"/>	Fibrocemento <input checked="" type="checkbox"/>	Hormigón <input type="checkbox"/>	
	Otro <input type="checkbox"/>			
RESIDUOS DE CONSTRUCCION				
CONVENCIONES				
SI (S):				
PARCIALMENTE (P):				
NO (N):				
		S	P	N
1. LIMPIEZA DE OBRA				
1.1. La obra se mantiene limpia de residuos de construcción y demolición todos los días		<input checked="" type="checkbox"/>		
2. CLASIFICACION DE RESIDUOS				
2.1. Se clasifican los materiales considerados residuos				<input checked="" type="checkbox"/>
2.2. Los constructores creen importante clasificar los residuos		<input checked="" type="checkbox"/>		
3. DESALOJO DE RESIDUOS				
3.1. Los residuos son desalojados una vez por semana			<input checked="" type="checkbox"/>	
3.2. Tienen autorización de la EMAC (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca) para el desalojo			<input checked="" type="checkbox"/>	
3.3. El constructor conoce el lugar donde se depositara el desalojo de los residuos			<input checked="" type="checkbox"/>	
4. RECICLADO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION				
4.1. El constructor tiene conocimiento sobre el reciclado de los residuos de construcción		<input checked="" type="checkbox"/>		
4.2. El constructor tiene conocimiento sobre la elaboración de concreto con áridos reciclados		<input checked="" type="checkbox"/>		
5. ARIDOS PARA EL CONCRETO				
5.1. El constructor ha sufrido alguna vez desabastecimiento de aridos para elaborar concreto			<input checked="" type="checkbox"/>	
5.2. Alguna vez ha tenido problemas con la calidad de los áridos para elaborar concreto		<input checked="" type="checkbox"/>		
OBSERVACIONES:				
ENCUESTADOR: <i>Marek Zoran</i>		FIRMA: <i>Marek Zoran</i>		



## ANEXO 4.

CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS			
Universidad de Cuenca		Maestría en Construcciones	
ENCUESTA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCION			Nº 8
OBRA: Los Milinos			
CONSTRUCTOR: OSH			
DIRECCION:			FECHA:
MATERIALES DE CONSTRUCCION			
ESTRUCTURA:	Hormigón <input checked="" type="checkbox"/>	Acero <input type="checkbox"/>	Prefabricados en Hormigón <input checked="" type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>
PAREDES:	Arcilla Maciza <input checked="" type="checkbox"/>	Arcilla Hueca <input type="checkbox"/>	Hormigón <input type="checkbox"/> Prefabricados <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>
CUBIERTA:	Teja <input type="checkbox"/>	Fibrocemento <input checked="" type="checkbox"/>	Hormigón <input checked="" type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>
RESIDUOS DE CONSTRUCCION			
CONVENCIONES			
SI (S):			
PARCIALMENTE (P):			
NO (N):			
1. LIMPIEZA DE OBRA	S	P	N
1.1. La obra se mantiene limpia de residuos de construcción y demolición todos los días		<input checked="" type="checkbox"/>	
2. CLASIFICACION DE RESIDUOS			
2.1. Se clasifican los materiales considerados residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
2.2. Los constructores creen importante clasificar los residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
3. DESALOJO DE RESIDUOS			
3.1. Los residuos son desalojados una vez por semana		<input checked="" type="checkbox"/>	
3.2. Tienen autorización de la EMAC (Empresa Municipal de Aceo de Cuenca) para el desalojo		<input checked="" type="checkbox"/>	
3.3. El constructor conoce el lugar donde se depositara el desalojo de los residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
4. RECICLADO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION			
4.1. El constructor tiene conocimiento sobre el reciclado de los residuos de construcción	<input checked="" type="checkbox"/>		
4.2. El constructor tiene conocimiento sobre la elaboración de concreto con áridos reciclados	<input checked="" type="checkbox"/>		
5. ARIDOS PARA EL CONCRETO			
5.1. El constructor ha sufrido alguna vez desabastecimiento de aridos para elaborar concreto		<input checked="" type="checkbox"/>	
5.2. Alguna vez ha tenido problemas con la calidad de los áridos para eleborar concreto			<input checked="" type="checkbox"/>
OBSERVACIONES:			
ENCUESTADOR: Esteban Torres	FIRMA:		



ANEXO 4.

**CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS**  
 Universidad de Cuenca Maestría en Construcciones

**ENCUESTA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCION** Nº 9

OBRA: Los Colibres

CONSTRUCTOR: OSH

DIRECCION: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

**MATERIALES DE CONSTRUCCION**

ESTRUCTURA: Hormigón  Acero  Prefabricados en Hormigón  Otro

PAREDES: Arcilla Maciza  Arcilla Hueca  Hormigon  Prefabricados  Otro

CUBIERTA: Teja  Fibrocemento  Hormigón  Otro

**RESIDUOS DE CONSTRUCCION**

CONVENCIONES  
 SI (S):  
 PARCIALMENTE (P):  
 NO (N):

	S	P	N
<b>1. LIMPIEZA DE OBRA</b>			
1.1. La obra se mantiene limpia de residuos de construcción y demolición todos los días	X		
<b>2. CLASIFICACION DE RESIDUOS</b>			
2.1. Se clasifican los materiales considerados residuos	X		
2.2. Los constructores creen importante clasificar los residuos	X		
<b>3. DESALOJO DE RESIDUOS</b>			
3.1. Los residuos son desalojados una vez por semana		X	
3.2. Tienen autorización de la EMAC (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca) para el desalojo	X		
3.3. El constructor conoce el lugar donde se depositara el desalojo de los residuos	X		
<b>4. RECICLADO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION</b>			
4.1. El constructor tiene conocimiento sobre el reciclado de los residuos de construcción	X		
4.2. El constructor tiene conocimiento sobre la elaboración de concreto con áridos reciclados	X		
<b>5. ARIDOS PARA EL CONCRETO</b>			
5.1. El constructor ha sufrido alguna vez desabastecimiento de aridos para elaborar concreto		X	
5.2. Alguna vez ha tenido problemas con la calidad de los áridos para eleborar concreto		X	

OBSERVACIONES:  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

ENCUESTADOR: Gustavo Montero FIRMA:



ANEXO 4.

**CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS**  
 Universidad de Cuenca Maestría en Construcciones

**ENCUESTA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCION** N° 10

OBRA: *Carretera Los Mayordicos*

CONSTRUCTOR: *OSH*

DIRECCION: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

**MATERIALES DE CONSTRUCCION**

ESTRUCTURA: Hormigón  Acero  Prefabricados en Hormigón  Otro

PAREDES: Arcilla Maciza  Arcilla Hueca  Hormigón  Prefabricados  Otro

CUBIERTA: Teja  Fibrocemento  Hormigón  Otro

**RESIDUOS DE CONSTRUCCION**

CONVENCIONES  
 SI (S):  
 PARCIALMENTE (P):  
 NO (N):

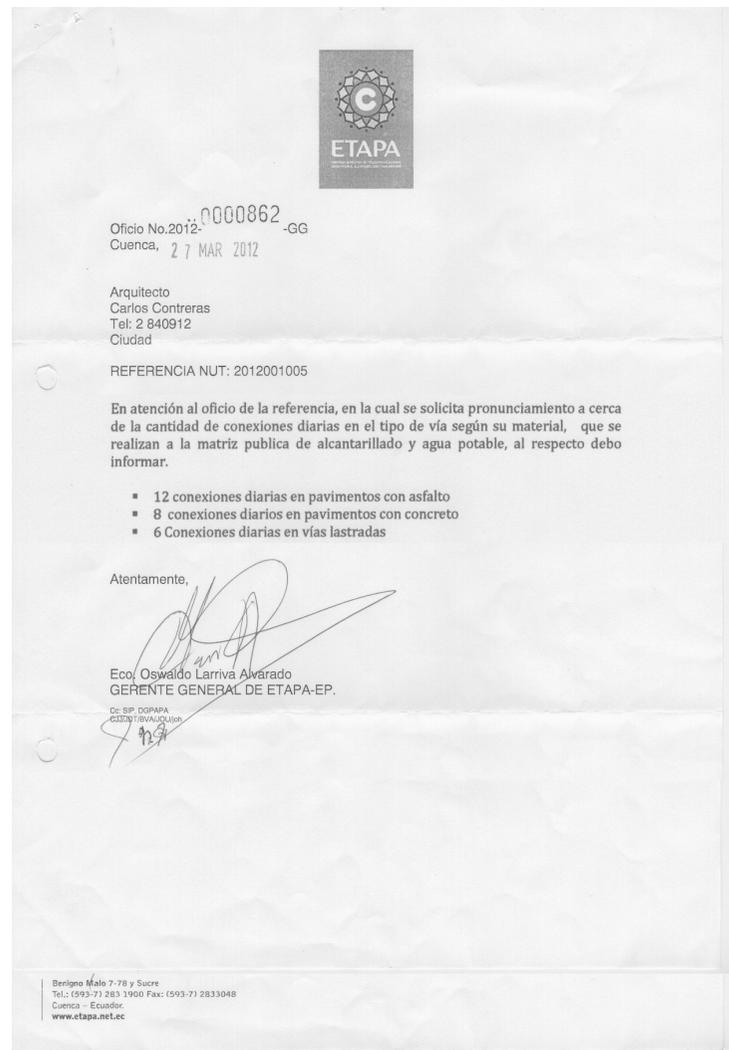
	S	P	N
1. LIMPIEZA DE OBRA			
1.1. La obra se mantiene limpia de residuos de construcción y demolición todos los días	<input checked="" type="checkbox"/>		
2. CLASIFICACION DE RESIDUOS			
2.1. Se clasifican los materiales considerados residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
2.2. Los constructores creen importante clasificar los residuos	<input checked="" type="checkbox"/>		
3. DESALOJO DE RESIDUOS			
3.1. Los residuos son desalojados una vez por semana			<input checked="" type="checkbox"/>
3.2. Tienen autorización de la EMAC (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca) para el desalojo		<input checked="" type="checkbox"/>	
3.3. El constructor conoce el lugar donde se depositara el desalojo de los residuos			<input checked="" type="checkbox"/>
4. RECICLADO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION			
4.1. El constructor tiene conocimiento sobre el reciclado de los residuos de construcción	<input checked="" type="checkbox"/>		
4.2. El constructor tiene conocimiento sobre la elaboración de concreto con aridos reciclados	<input checked="" type="checkbox"/>		
5. ARIDOS PARA EL CONCRETO			
5.1. El constructor ha sufrido alguna vez desabastecimiento de aridos para elaborar concreto	<input checked="" type="checkbox"/>		
5.2. Alguna vez ha tenido problemas con la calidad de los áridos para eleborar concreto	<input checked="" type="checkbox"/>		

OBSERVACIONES:  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

ENCUESTADOR: *Juan Nival* FIRMA: *Juan Nival*



ANEXO 5.





## CAPITULO 8.- BIBLIOGRAFIA

- 1 LOGROS - EMAC EP- AGOSTO 2009 – JULIO 2010 [www.emac.gov.ec/?q=system/files/RESUMEN%20EJECUTIVO.ppt](http://www.emac.gov.ec/?q=system/files/RESUMEN%20EJECUTIVO.ppt)
- 2 ANDES/@relicheandres » 17:04 - 23 jun 2010
- 3 <http://conciencia20.pd2.iup.es/2011/05/24/18-anos-despues-delmacrodeslizamiento-de-la-josefina-el-peligro-ambiental-persiste/> Publicado por Fernando Valencia el 24 de mayo de 2011.
- 4 <http://www.ecuadorencifras.com/cifras-inec/vivienda>
- 5 <http://www.emac.ep.ec/Saneamiento/obras.aspx>
- 6 [www.emac.gov.ec/?q=system/files/RESUMEN%20EJECUTIVO.ppt](http://www.emac.gov.ec/?q=system/files/RESUMEN%20EJECUTIVO.ppt).
- 7 <http://www.terra.org>
- 8 Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MTOP. (MOP-001-F-2002).
- 9 Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MTOP. (MOP-001-F-2002) Tabla 8.
- 10 Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MTOP. (MOP-001-F-2002) Tabla 9
- 11 William Lambe. Robert V. Whitman. Mecánica de suelos. Editora Limusa. Mexico. 1997.
- 12 Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MTOP. (MOP-001-F-2002).
- 13 Informe del CODIGEM 17 de febrero de 2011.
- 14 Informe del COE, 11 de abril de 2011.
- 15 Informe de la CGA, 26 de marzo de 2011.
- 16 Dirección Nacional de Minería, gestión de seguimiento y control minero.



- 17** Ministerio de Recursos no Renovables
- 18** <http://disensa.com/main/images/pdf/agregadosgye.pdf>.
- 19** Escuela Politecnica Nacional, agenda de programación viernes 24 de agosto de 2011.
- 20** Mater. Construcc., Vol. 57, 288, 5-15, octubre-diciembre 2007. ISSN: 0465-2746.
- 21** Asociación Española de Normalización y Certificación. AENOR: Hormigón estructural. Normas UNE, Madrid, España, 1999.
- 22** Mater. Construcc., Vol. 55, n° 279, 2005. ISSN: 0465-2746.
- 23** Pavón, E.; Etxeberria, M. & Díaz, N.E.: “Estudio de la aplicabilidad del hormigón con árido grueso reciclado”. *Materiales de Construcción* (2012) [en línea], manuscrito aceptado. doi: 10.3989/mc.2012.63210.
- 24** José Luis Parra y Alfaro Caracterización de RCD de la Comunidad de Madrid como áridos reciclados para fabricación de hormigón. Madrid 2001.
- 25** Gonzalo A. Valdés y Jorge G. Rapimán. Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de la Frontera, Francisco Salazar N° 01145, Temuco-Chile.
- 26** Carino N.J., *Nondestructive Testing of Concrete: History and Challenges*, American Concrete Institute, ACI SP-144, Detroit, MI, 1994. pp. 623-678.
- 27** ASTM, Editores Klieger P. y J. F. Lamond, *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials*, pp. 630, 1994.
- 28** Fernandez B., P. Rivera y J. P. Montt, *Con Bajo Impacto Hidrológico Ambiental: Uso de Pavimentos Permeables*, Revista BIT, Noviembre, pp. 54-56, 2003.
- 29** Al-Rousan T., E. Masad, E. Tutumluer y T. Pan, “Evaluation of image analysis techniques for quantifying aggregate shape characteristics, *Construction and Building Materials*, Volumen 21, pp. 978-990, 2007.
- 30** II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Barranquilla, 24 y 25 de septiembre de 2009.
- 31** SILVEIRA, G.T.R. Metodologia de caracterização dos resíduos sólidos, como base para uma gestão ambiental. Estudo de caso: entulhos da construção civil em Campinas. Campinas. 1993 (Disertación de maestría ante la UNICAMP).
- 32** PINTO, T.P., LIMA, J.A.R. Industrialización de componentes a partir de definición de una política de reciclaje de residuos de construcción urbana.
- 33** EUROPEAN DEMOLITION ASSOCIATION (EDA). “Demolition and Construction Debris: Questionnaire about an EC Priority Waster



Stream". The Hague, 1992.

**34** BARRA M. "Estudio de la Durabilidad del Hormigón de Árido Reciclado en su Aplicación como Hormigón Estructural". Tesis doctoral. Universidad politécnica de cataluña. 1996.

**37** HANSEN, T. C. BOEEGH, E. "Elasticity and Drying Shrinkage of Recycle Aggregate", ACI Journal Vol 82 No 5, pag 648-652, octubre 1985.

**38** EUROPEAN DEMOLITION ASSOCIATION (EDA). "Demolition and Construction Debris: Questionnaire about an EC Priority Waste Stream". The Hague, 1992.

**39** HB 155-2002: "Guide to the use of recycle concrete and masonry materials". Standards Australia.

**40** GOMEZ, J.M.V. VAZQUEZ, E. AGULLO, L. "Hormigón con áridos reciclados. Una guía de diseño para el material". Monografía CIMNE. No 60. Mayo 2001.

**41** GONZALEZ. FONTEBOA. "Recycled aggregates concrete: aggregate and mix properties". Materiales de Construcción Vol. 55 pag 53-66, julio 2005.

**42** Collins R.J. 1994. The use of recycled aggregates in concrete. BRE report, Building Research Establishment, U.K. May.

**43** UNE-EN 1097-3 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2. Determinación de la densidad en los áridos.

**44** NAGATAKI, S.; GOKCE, A.; SAEKI, T.: "Effects of recycled aggregate characteristics on the performance parameters of recycled aggregate concrete". Proceedings of the Fifth Canmet/ACI International Conference on Durability of Concrete, p.p. 51-71 June 4-9, 2000, Barcelona.

**46** <http://www.b-i-m.de/public/tudmassiv/dacon97ruehl.htm>

**47** FERNÁNDEZ CANOVAS. M.: "Hormigón". Servicio de Publicaciones de la E.T.S.I De Caminos, Canales y Puertos. 1991.

**48** DISENSA cementos & agregados rocafuerte.

**49** GOMEZ, J.M.V., VAZQUEZ, E., AGULLÓ, L.: "Hormigón con áridos reciclados. Una guía de diseño para el material". Monografía CIMNE. Nº 60. Mayo 2001.

**50** SANCHEZ DE GUZMAN, diego. Tecnología del concreto y del mortero. Universidad Javeriana Facultad de Ingeniería. Bogotá. 1987.

**51** CARVAJAL Lizardo, Metodología de la Investigación. Editorial Faid. Colombia - Bogotá. 1984 - 1992