

CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO  
PROPIEDADES TÉCNICAS Y USO.

WILSON HERNÁN CÁRDENAS VALDEZ

JUAN GABRIEL HERNÁNDEZ MÉNDEZ

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

CENTRO REGIONAL

ZIPAQUIRÁ

2014

CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO  
PROPIEDADES TÉCNICAS Y USO.

WILSON HERNÁN CÁRDENAS VALDEZ

JUAN GABRIEL HERNÁNDEZ MÉNDEZ

Trabajo de grado como requisito  
Para obtener el título de ingeniero civil.

Director de trabajo de grado.  
Ingeniero civil Nelson Valbuena

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

CENTRO REGIONAL

ZIPAQUIRÁ

2014

Notas de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## AGRADECIMIENTO

Este documento es un trabajo de investigación que se realizó con esfuerzo en el cual, participaron un grupo de personas que de forma directa o indirecta, leyendo, opinando, corrigiendo y aconsejando. Permitieron la elaboración del texto.

Agradecemos a la Corporación Universitaria minuto de Dios por traer educación superior y de calidad al Municipio de Zipaquirá, el cual no contaba con una universidad con la modalidad presencial, además con reconocimiento nacional por estar en varios lugares del país brindando la oportunidad de capacitación a un amplio número de personas que no tenían la posibilidad de la educación universitaria.

En especiales agradece a la Coordinadora Ingeniería Constanza García Puentes con todo el grupo de docente con el que cuenta.

Asimismo se hace el reconocimiento al Ingeniero Nelson Valbuena Sandoval que fue la persona que en la modalidad de tutor, dio la dirección de este trabajo, en complemento con la Ingeniería Sandra Milena Parada, para de esta manera obtener un producto de calidad.

También se agradece a los compañeros que estuvieron con nosotros en este proceso de formación de los cuales se compartieron muchas vivencias que complementan el aprendizaje para la formación profesional.

Un agradecimiento muy especial a nuestros padres para Wilson Cárdenas: Padres Guillermo Cárdenas y Mercedes Valdez; para Gabriel Hernández: Padres Hugo Hernández y María Emma Méndez, hermanos que siempre estuvieron dando una voz de aliento en los momentos que más se necesitaban para alcanzar nuestra meta.

A todos muchas Gracias.

## DEDICATORIA

Este trabajo de investigación es dedicado a Dios el señor que todo lo puede, por avernos dado la vida, la fortaleza, mostrarnos el camino correcto, para alcanzar este punto tan importante de nuestra formación profesional.

A nuestros padres

Para Wilson cárdenas: Padres Guillermo Cárdenas y Mercedes Valdez.

Para Gabriel Hernández: Padres Hugo Hernández y María Emma Méndez.

Por su apoyo en los momentos difíciles, consejos, comprensión, ayuda, amor. Estas personas nos han dado valores, principios, carácter, empeño, constancia, decisión para alcanzar los objetivos y metas.

A nuestros hermanos, que son personas que siempre estuvieron dando apoyo en los momentos en situaciones que se necesitó motivación para no decaer sino por el contrario tener fortaleza para alcanzar el objetivo propuesto.

Wilson cárdenas

Gabriel Hernández

Zipaquirá junio de 2014

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	3
1. JUSTIFICACIÓN.....	4
2. GLOSARIO .....	5
3. OBJETIVOS.....	7
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	7
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
4. MARCO TEÓRICO .....	8
4.1 AGREGADOS.....	8
4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS .....	8
4.3 Clasificación según su tamaño: .....	9
4.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS .....	10
4.4.1 Granulometría:.....	10
4.4.2 Especificaciones de agregados para concretos. ....	13
4.4.3 Granulometría para agregado grueso.....	14
4.4.4 Tamaño máximo del agregado: .....	16
4.4.5 Tamaño máximo nominal: .....	16
4.4.6 Forma: .....	16
4.5 CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO.....	17
4.5.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	17
4.5.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO DE CILINDROS.....	18
4.5.3 Curado:.....	20
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	21
5.1 FORMULACIÓN .....	21
6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	22
7. EXPECTATIVAS Y DESARROLLO .....	24
7.1 El papel del reciclaje de concreto dentro del desarrollo sostenible.....	27
7.2 El caso de CEMEX .....	29
7.3 Reciclados Industriales: .....	29
7.4 Ciclomat: .....	30

7.5 OTROS USOS DEL ACR.....	30
8. EXPERIENCIAS Y PROPUESTAS CONSTRUCTIVAS .....	32
8.1 Parque de los humedales de Hong Kong.....	32
8.2 Aeropuerto Internacional de Denver. ....	33
8.3 Puente Abraham Lincoln sobre el rio Illinois. ....	34
8.4 VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL Y PRIORITARIO SOSTENIBLES EN COLOMBIA – VISS Y VIPS-MATERIALES RECICLADOS.....	34
8.5 EL HORMIGÓN RECICLADO, ALTERNATIVA PARA RECONSTRUIR EDIFICIOS EN HAITÍ .....	35
8.6 PROYECTO DE APARTAMENTOS AKAROA, DE LA CONSTRUCTORA ARRECIFE .....	36
8.7 CENTROS COMERCIAL GRAN PLAZA SAN ANTONIO, PITALITO, HUILA.	36
8.8 ESTADIOS CASTELAO ARENA Y ARENA FONTE NOVA.....	37
9. DISCUSIÓN Y RESULTADOS .....	38
9.1 EL ACR (agregado de concreto reciclado).....	38
9.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS RECICLADOS Y DE LAS MEZCLAS ELABORADAS CON ESTOS .....	39
9.2.1 ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS RECICLADOS.....	39
9.2.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA .....	42
9.2.3 DENSIDAD DE AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO.....	43
9.2.4 DESGASTE .....	44
9.2.5 ASENTAMIENTOS DE CONCRETOS FABRICADOS CON AGREGADOS RECICLADOS.....	44
9.2.6 PROPIEDADES MECÁNICAS EN CONCRETOS CON AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO.....	45
9.2.7 MODULO ELÁSTICO .....	49
9.2.8 RESISTENCIA A SULFATOS.....	50
9.2.9 EXPANSIÓN EN CONCRETOS CON AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO .....	51
9.3 INVESTIGACIÓN DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM .....	53
9.3.1 Humedad: .....	54

<b>9.3.2</b>	Absorción:.....	54
<b>9.3.3</b>	Densidad relativa: .....	55
<b>9.3.4</b>	Peso unitario:.....	55
<b>9.3.5</b>	Evaluación de la manejabilidad: .....	56
<b>9.3.6</b>	Peso unitario en estado fresco: .....	57
<b>9.3.7</b>	Contenido de aire: .....	57
<b>9.3.8</b>	Resistencia a la compresión: .....	58
<b>9.3.9</b>	Resistencia a la tensión:.....	59
<b>9.3.10</b>	Resistencia a la flexión: .....	59
<b>9.3.11</b>	Modulo Elástico: .....	60
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>61</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>63</b>
<b>0.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>67</b>
<b>0.0</b>	<b>PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACR</b> .....	<b>67</b>

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1 CLASIFICACIÓN DE LA DENSIDAD DE LOS AGREGADOS.....	9
TABLA 2. TAMAÑO DE LAS MUESTRAS. ....	10
TABLA 3. CANTIDAD MÁXIMA PERMISIBLE DE MATERIAL RETENIDO EN UN TAMIZ, KG.....	11
TABLA 4. TABLA EJEMPLO RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA.....	12
TABLA 5. LÍMITES PARA CONTENIDO DE SUSTANCIAS DAÑINAS EN LOS AGREGADOS. ....	13
TABLA 6. LOS LÍMITES DE LOS GRANULOMÉTRICOS PARA AGREGADOS FINOS.....	13
TABLA 7. FRANJAS GRANULOMÉTRICAS PARA EL AGREGADO GRUESO.....	15
TABLA 8 REQUISITOS DE TAMAÑO Y TIPO DE MODELO .....	19
TABLA 9 GENERACIÓN DE RESIDUOS EN ALGUNAS REGIONES DEL PAÍS.....	25
TABLA 10. GENERACIÓN DE RCD PRIVADA + PUBLICA. ....	25
TABLA 11. PRUEBAS DE CONCRETO CON ACR .....	32
TABLA 12. ABSORCIÓN DE AGREGADOS PARA CONCRETO SEGÚN ALAN BUCK 1973 .....	39
TABLA 13. ABSORCIÓN DE AGREGADOS PARA CONCRETO SEGÚN DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE DE MICHIGAN 1981.....	40
TABLA 14 ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS RECICLADOS SEGÚN CARLOS BEDOYA .....	40
TABLA 15 ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS RECICLADOS SEGÚN ÁNGELA MARÍA HINCAPIÉ .....	40
TABLA 16 ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM ...	41
TABLA 17. GRAVEDAD ESPECÍFICA SEGÚN DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE DE MICHIGAN 1981 .....	43
TABLA 18. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADOS PARA CONCRETOS SEGÚN ALAN BUCK 1973.....	43
TABLA 19. ASENTAMIENTOS EN CONCRETO CON ACR .....	44
TABLA 20. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	45
TABLA 21. PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	47
TABLA 22. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	47
TABLA 23. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	48
TABLA 24. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	48
TABLA 25. HUMEDAD DE LOS AGREGADOS (UNAM).....	54
TABLA 26. ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS (UNAM).....	54
TABLA 27. GRAVEDAD ESPECÍFICA (UNAM).....	55
TABLA 28. PESO UNITARIO COMPACTADO (UNAM).....	55
TABLA 29. ASENTAMIENTOS OBTENIDOS (UNAM) .....	56
TABLA 30. DENSIDAD CONCRETO FRESCO (UNAM).....	57
TABLA 31. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (UNAM).....	58
TABLA 32. RESISTENCIA A LA TENSIÓN.....	59
TABLA 33. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN. ....	59



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA.1. GRANULOMÉTRICA.....	12
FIGURA. 2 LIMITES GRANULOMÉTRICOS PARA EL AGREGADO FINO.....	14
FIGURA. 3. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO.....	23
FIGURA. 4. DEMANDA DE AGREGADOS EN COLOMBIA MILES DE MILLONES DE TONELADAS AÑO. ....	24
FIGURA. 5. ESCOMBRERAS ILEGALES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ. ....	25
FIGURA. 6. PARQUE DE LOS HUMEDALES HONG KONG .....	33
FIGURA. 7. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE DENVER. ....	33
FIGURA. 8. VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL CONSTRUIDA CON PANELES DE CONCRETO RECICLADO MEDELLÍN COLOMBIA. ....	35
FIGURA. 9. APARTAMENTOS AKAROA .....	36
FIGURA. 10. ESTADIO CASTELAO ARENA .....	37
FIGURA. 11. ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO RECICLADO DIFERENTES AUTORES.....	41
FIGURA. 12. ABSORCIÓN AGREGADO FINO RECICLADO.....	42
FIGURA. 13. VARIACIÓN RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS REMPLAZO DE ACR.....	46
FIGURA. 14. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN GARZÓN. ....	47
FIGURA. 15. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN BEDOYA. ....	49
FIGURA. 16. MUESTRAS CON ACR EXPUESTAS A SUELO SULFATOS .....	51
FIGURA. 17. EXPANSIÓN EN CONCRETOS VS CONTENIDO DE ACR. A/C 048.....	52
FIGURA. 18. EXPANSIÓN EN CONCRETOS VS CONTENIDO DE ACR. A/C 053.....	52
FIGURA. 19. EXPANSIÓN EN CONCRETOS VS RELACIÓN AGUA CEMENTO .....	53
FIGURA. 20. PROCEDIMIENTO DE MUESTRAS.....	56
FIGURA. 21. DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO. ....	57
FIGURA. 22. MEZCLAS CON LOS MISMOS CONTENIDOS DE CEMENTO.....	58
FIGURA. 23. PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE ACR.....	68
FIGURA. 24. MANIPULACIÓN Y SEPARACIÓN.....	69
FIGURA. 25. ALMACENAMIENTO.....	70
FIGURA. 26. RECOGIDA Y TRANSPORTE. ....	71
FIGURA. 27. PLANTA DE TRATAMIENTO DE PRODUCCIÓN DE ACR.....	72
FIGURA. 28. SEPARACIÓN TRANSFORMACIÓN Y APROVECHAMIENTO. ....	72
FIGURA. 29. ZONA DE ALMACENAMIENTO DE ESCOMBROS DE CONCRETO.....	73
FIGURA. 30. TRITURACIÓN DEL CONCRETO.....	73
FIGURA. 31. CRIBADO. ....	74
FIGURA. 32. OBTENCIÓN DE ACR. ....	74

## RESUMEN

Los agregados procedentes de la trituración de concreto presentan algunas diferencias respecto a los agregados naturales, diferencias que también afectan el comportamiento de los concretos elaborados con estos.

En este trabajo analizan las características de los agregados de concreto reciclado como: absorción, densidad peso específico a partir de resultados expuestos por diferentes autores, y se compara con agregados de origen natural.

Se analiza el comportamiento de los concretos elaborados con agregados reciclados prestando especial interés a la variación de la resistencia a la compresión y su diferencia respecto a mezclas de similares características elaboradas con agregados naturales.

Se incluye ejemplos de proyectos realizados usando agregados de concreto reciclado, en diferentes partes del mundo como china y Estados Unidos los resultados obtenidos en estos proyectos su impacto ambiental y económico en algunos casos.

Para el caso colombiano se describe brevemente la manera en que la industria aprovecha los residuos de construcción y demolición, entre estos, residuos de concreto, también se incluyen los avances normativos y el impacto sobre el medio ambiente que puede generar la implementación de su uso.

Palabras Claves: Agregado de concreto reciclado (ACR), Concreto, reciclar, agregado, Resistencia a la compresión.

## INTRODUCCIÓN

Aunque, el desarrollo de agregados a partir de la trituración de concreto no es un tema nuevo, si existe un gran desconocimiento de sus propiedades y características en buena parte del gremio de la construcción y especialmente por parte de los profesionales en formación o recién egresados.

Desde el punto de vista técnico se han realizado ensayos en diferentes partes del mundo como Estados unidos, Europa, México, Colombia por mencionar algunos, en los cuales se analizaron tanto las propiedades de los agregados como de las mezclas de concreto elaboradas con estos.

Se han elaborado mezclas de concreto que incorporan ACR desde la pos guerra de la segunda guerra mundial, con y sin soportes técnicos para su uso, recientemente se ha utilizado en grandes proyectos como por ejemplo el parque de los humedales en Hong Kong, china, el aeropuerto internacional de Denver en Estados unidos.

En Colombia diferentes compañías han logrado darle uso al agregado de concreto reciclado y explotado comercialmente como es el caso de Ciclomat, Cemex, Reciclados industriales, que producen agregados reciclados para la venta o concreto con el mismo fin. Amparados en normas técnicas que permiten su uso, y ambientales que lo exigen.

## 1. JUSTIFICACIÓN

Son muchas las investigaciones realizadas en torno al uso de concreto triturado como agregado para nuevo concreto así como los usos a los que se ha sometido. Es importante condensarlos para tener un enfoque más claro sobre el tema, por esta razón se ha indagado en sus usos, características técnicas y su aporte al desarrollo sostenible a través de investigaciones planteadas por otros autores, en industrias dedicadas al reciclaje de escombros y desarrollo de obras, organizaciones ambientales y entes reguladores como la secretaria distrital de ambiente de Bogotá basado en la resolución 01115 del 26 de septiembre del 2012.

Aunque en Colombia existen numerosas investigaciones que buscan evaluar las características técnicas de los agregados reciclados, resulta importante tener en cuenta investigaciones realizadas en otras partes del mundo, ya que el concreto no es un material de uso local si no que es usado en casi todas las países del globo, además no es despreciable que en algunos países los recursos para realizar este tipo de investigaciones son mucho más amplios que en el nuestro lo que genera mayor confiabilidad en sus resultados.

Las conclusiones que se buscan obtener, pretenden establecer si el uso de concreto reciclado como agregado es una posibilidad viable teniendo en cuenta las características técnicas de los mismos, por lo que se presentan algunos ejemplos de uso y resultados experimentales de diferentes autores; De esta manera se invita a que se evalúe la posibilidad de su uso para cada proyecto, mas no representa la prueba fehaciente de que se puede usar los escombros de concreto proveniente de una fuente específica, para un proyecto determinado.

Por tanto este trabajo permitirá a estudiantes, ingenieros, y personal interesado en el uso de agregados reciclados y el desarrollo sostenible, tener un punto de partida desde el cual puedan plantear y ejecutar proyectos usando este tipo de materiales.

## 2. GLOSARIO

- **AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO (ACR)**

Es un material obtenido de la trituración de concreto proveniente de la demolición de estructuras de concreto. La Norma Técnica Peruana (INDECOPI., 1999) lo llama Granulado de concreto y lo define como el material secundario de construcción proveniente del tratamiento del concreto y mortero de demolición hasta llevarlo a partículas de tamaño similar al de los agregados

- **AGREGADO**

Los agregados son materiales sólidos que normalmente poseen altas resistencias propias y que son empleados junto con un medio cementante para formar concreto. Los agregados se dividen en dos grupos según su tamaño, fino y grueso. El agregado fino es siempre arena, y el agregado grueso es usualmente grava o piedra triturada. (Sánchez D. G., 1993)

Son sólidos en partículas añadidos intencionalmente al concreto como parte de la mezcla durante la producción del lote o colocados en los moldes y subsecuentemente rodeados de pasta en forma de mortero o lechada (IMCYC, Instituto Mexicano del cemento y concreto, 1990)

- **CONCRETO**

El concreto es un material desarrollado a partir de la unión de los materiales como: el cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y en algunos casos aditivos.

Durante el mezclado, el cemento y el agua forman una pasta que rodea cada partícula de agregado. A las pocas horas, el concreto comienza a endurecer debido a la hidratación, que es una reacción química entre el cemento y el agua. Al ocurrir la hidratación, la pasta une entre si las partículas del agregado, formando una masa resistente, durable y sólida. (Saucedo, 1971)

- **RECICLAR**

Todo proceso que culmine con la transformación de materiales de desecho en nuevos materiales es considerado un proceso de reciclaje, o puede ser un proceso que tiene por objeto la recuperación, de forma directa o indirecta, de los componentes que contienen los residuos urbanos por tanto el término abarca

muchos procesos diferentes, este trabajo trata sobre la obtención de agregado de concreto reciclado conocido como ACR. . (Biodegradable.com.mx)

Este proceso inicia con la obtención de la materia prima que son residuos de demolición y construcción RCD, la separación de dichos residuos y luego de tener separado el concreto que es uno de los residuos más comunes de las demoliciones, se procede a su trituración y caracterización para ser aprovechado como agregado en nuevas mezclas de concreto.

- **LEED:** Liderazgo en energía y certificación ambiental (leadership in energy and enviromental desing)
- **RCD:** Residuos de demolición y construcción
- **SDA :** Secretaria de medio ambiente
- **USGBC:** (u.s Green bulding council): consejo de construcción sostenible de estados unidos
- **CCCS:** consejo colombiano de construcción sostenible
- **Escombro:** Todo residuo sólido sobrante de la actividad de la construcción, de la realización de obras civiles o de otras actividades conexas complementarias o análogas. (Secretaría de medio ambiente distrital de Bogotá, 2012)

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

1. Caracterizar los agregados de concreto reciclado.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Identificar las características técnicas y usos del agregado de concreto reciclado.
2. Analizar las características técnicas y usos del agregado de concreto reciclado.
3. Determinar la importancia del uso de agregado de concreto reciclado y el impacto ambiental que este puede generar.
4. Construir un documento técnico de referencia en cuanto al uso de agregado de concreto reciclado.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1 AGREGADOS**

Los agregados son todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente, no perturban el proceso del endurecimiento del cemento hidráulico.

Abarcan del 60% al 80% del volumen del volumen total de la mezcla. “Una de las condiciones más relevantes que deben cumplir dichas partículas es su gradación, con el fin de que la pasta de concreto se torne homogénea, sólida y densa, en la que los tamaños más pequeños de partículas presentes actúen como relleno. Los vacíos existentes entre las partículas de mayor tamaño.” (Nawy, 1988)

Entre los agregados presentes en una mezcla de concreto existen dos clases como lo son agregados gruesos y finos. En los primeros figura la grava, piedra triturada, Concreto triturado. Por otra parte en los segundos figura arena natural proveniente de ríos o canteras.

“Debido a que el agregado constituye la mayor parte de la mezcla, entre más agregado se tenga en la mezcla, esto resultara en un concreto más económico, a condición de que la mezcla sea de una razonable manejabilidad para el trabajo específico en el que se utilice.” (Nawy, 1988)

Con base en lo anterior se puede inferir que tanto los agregados gruesos como los finos son parte fundamental de una mezcla de concreto puesto que el mayor porcentaje de la misma se compone de estas partículas, las cuales deben cumplir con ciertos criterios de calidad como su gradación, libre de todo tipo de impurezas orgánicas para tener una buena adherencia con el cemento, entre otras que garantizan un alto desempeño en su vida útil.

Entre sus funciones esta Proporcionar parte de la resistencia mecánica característica del concreto; Controlar cambios volumétricos durante el fraguado evitando agrietamientos y pérdidas de resistencia del concreto.

### **4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS**

Los agregados en general se pueden clasificar como agregados naturales y agregados artificiales teniendo en cuenta su origen:

Los agregados naturales son todos aquellos que provienen de fuentes naturales como la explotación de canteras, depósitos de arrastre fluviales como las arenas de río, en estos casos se puede aprovechar la gradación natural o someterlo a trituración.

Los agregados artificiales son todos aquellos provenientes de productos y procesos industriales, el ACR se clasifica dentro de este grupo.

Clasificación según su densidad:

La densidad de los agregados afecta la densidad del concreto, por tanto estos se clasifican en: ligero, normal y pesado. (Sánchez D. G., 1993)

**Tabla 1 Clasificación de la densidad de los agregados**

TIPO DE CONCRETO	PESO UNITARIO DEL CONCRETO Kg/m <sup>3</sup>	PESO UNITARIO DEL AGREGADO Kg/m <sup>3</sup>	EJEMPLO UTILIZACIÓN	EJEMPLO AGREGADO
<b>Ligero</b>	400-800	60-480	concreto para asilamientos	Piedra pómez perлита
	950-1350	480-1040	concreto para rellenos y mampostería estructural	
	1450-2000		concreto estructural	
<b>Normal</b>	2000-2500	1300-1600	concreto estructural y no estructural	Canto rodado , y agregado de río
<b>Pesado</b>	2500-5600	3400-7500	Concreto para protección contra radiación gammao x, y contrapesas	Piedra barita, magnetita

Fuente: Sanchez 1993

#### 4.3 Clasificación según su tamaño:

Se clasifica a partir de un análisis granulométrico, las partículas que tienen un diámetro inferior a 4,75 mm y no menor de 0,0075 mm comúnmente se le llama arena, las partículas con diámetros superiores a 4,76 mm se les denomina grava. (Sánchez, 1993)

## 4.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

### 4.4.1 Granulometría:

La granulometría, es la distribución de tamaños presentes en una masa de agregados, se determina mediante el análisis granulométrico.

Consiste en hacer pasar la muestra por una serie de tamices con aberturas cuadradas, teniendo en cuenta la abertura en pulgadas para los tamaños más grandes, y por el número de abertura por pulgada para los tamaños menores. Las operaciones de tamizado deben realizarse de acuerdo con la norma Icontec -77. Segunda actualización

La norma determina un tamaño mínimo de la muestra de acuerdo con el tamaño máximo nominal del agregado como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 2. Tamaño de las muestras.**

Tamaño máximo nominal aberturas cuadradas (mm)	Masa mínima Muestra de ensayo (kg)
9,5	1
12,5	2
19	5
25	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Fuente: NTC -77. (2007) Segunda actualización

Es importante prevenir la sobrecarga de material en un tamiz por lo que se debe realizar otros procedimientos como insertar un tamiz adicional, separar la muestra en dos o más porciones, aumentar el área de los tamices utilizados, en la tabla se muestran cantidades máximas permisibles de material para cinco dimensiones de marcos de tamices.

**Tabla 3. Cantidad máxima permisible de material retenido en un tamiz, kg**

Tamaño de abertura del tamiz, mm	Dimensiones nominales de los tamices A				
	203,2 mm diámetro B	254 mm diámetro B	304,8 mm diámetro B	350 mm x 650 mm	372 mm x 580 mm
	Área de tamizado, m <sup>2</sup>				
	<b>0,0285</b>	<b>0,0457</b>	<b>0,067</b>	<b>0,122 5</b>	<b>0,215 8</b>
125,00	C	C	C	c	67,40
100,00	C	C	C	30,60	53,90
90,00	C	C	15,10	27,60	48,50
75,00	C	8,60	12,60	23,00	40,50
63,00	C	7,20	10,60	19,30	34,00
50,00	3,60	5,70	8,40	15,30	27,00
37,50	2,70	4,30	6,30	11,50	20,20
25,00	1,80	2,90	4,20	7,70	13,50
19,00	1,40	2,20	3,20	5,80	10,20
12,50	0,89	1,40	2,10	3,80	6,70
9,50	0,67	1,10	1,60	2,90	5,10
4,75	0,33	0,54	0,80	1,50	2,60
A. Dimensiones del marco del tamiz en pulgadas: 8,0 pulgadas de diámetro, 10,0 pulgadas de diámetro; 12,0 pulgadas de diámetro; 13,8 pulgadas por 13,8 pulgadas (14 x 14 pulgadas nominal); 14,6 por 22,8 pulgadas (16 por 24 pulgadas nominal).					
B. El área del tamiz para bastidores redondos se encuentra basado en un diámetro efectivo de 12,7 (1/2 pulgada) menos que el diámetro nominal, debido a que la NTC 32 (ASTM E 11) permite que el sello entre la malla del tamiz y el marco se extiende 6,35 mm (1/4 de pulgada) sobre la malla del tamiz. Así, el diámetro efectivo de tamizado para un bastidor de 203 mm de diámetro es 190 mm (7,5 pulgadas). Algunos fabricantes de tamices pueden reducir solamente hasta 6,35 mm (1/4 de pulgada) la malla del tamiz					
C. Los tamices señalados tienen menos de cinco aberturas completas y no deben usarse para ensayos granulométricos, excepto como se menciona en el numeral 8.6					

Fuente: NTC 174 (2000) Especificaciones de agregados para concretos

Los resultados se plasman en una tabla como la que se muestra a continuación

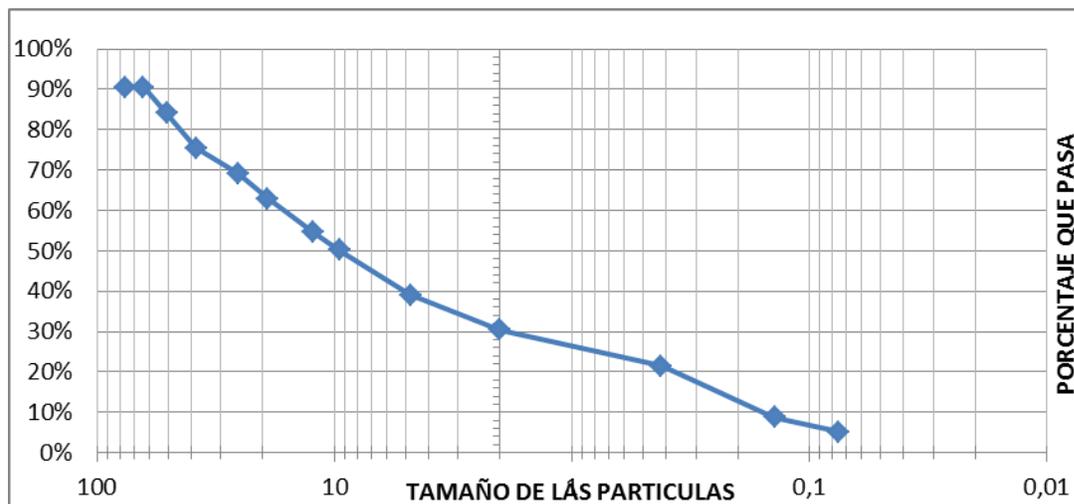
**Tabla 4. Tabla ejemplo resultados de granulometría**

TAMIZ	ABERTURA TAMICES	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE QUE PASA	RETENIDO ACUMULADO
3"	76,2	665	9,50%	90,50%	9,50%
2.5"	63,5	0	0,00%	90,50%	9,50%
2"	50,8	446,1	6,37%	84,13%	15,87%
1.5"	38,1	607,9	8,68%	75,44%	24,56%
1"	25,4	432,7	6,18%	69,26%	30,74%
3/4"	19,1	442	6,31%	62,95%	37,05%
1/2"	12,2	582,2	8,32%	54,63%	45,37%
3/8"	9,53	310,1	4,43%	50,20%	49,80%
N°4	4,76	776,1	11,09%	39,11%	60,89%
N°10	2	606,5	8,66%	30,45%	69,55%
N°40	0,42	623,9	8,91%	21,54%	78,46%
N°100	0,14	894,1	12,77%	8,76%	91,24%
N°200	0,075	249,8	3,57%	5,19%	94,81%
FONDO		363,6	5,19%	0,00%	100,00%

Fuente: Wilson Cárdenas Gabriel Hernández 2014.

Luego con estos datos se realiza una gráfica granulométrica, como la elaborada con los datos del ejemplo anterior.

**Figura.1. Granulométrica.**



Fuente: Wilson Cárdenas Gabriel Hernández 2014.

#### 4.4.2 Especificaciones de agregados para concretos.

En Colombia los agregados usados para concretos deben cumplir con los requisitos de la norma Icontec NTC 174.

Agregado fino: se permite el uso de arenas naturales, de arenas trituradas o una combinación de estas. (NTC 174, 2000)

Se establecen límites para sustancias dañinas como terrones de arcilla y partículas deleznable, material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N°. 200), carbón o lignito.

**Tabla 5. Límites para contenido de sustancias dañinas en los agregados.**

MATERIAL	MÁXIMO PORCENTAJE DEL PESO TOTAL DE LA MEZCLA
<b>Terrones de arcilla y partículas deleznable</b>	3.0
<b>Material que pasa el tamiz 75 <math>\mu\text{m}</math> (N°. 200)</b>	
Concreto sujeto a abrasión	3.0 a
Todos los demás concretos	5.0 a
<b>Carbón o lignito</b>	
Donde la apariencia superficial del concreto sean de importancia	0.5
Todos los demás concretos	1.0

a) en el caso de arena triturada si el material que pasa el tamiz 75  $\mu\text{m}$  (N°. 200) contiene polvo de trituración libre de arcilla estos límites pueden incrementarse a 5% y 7% respectivamente.

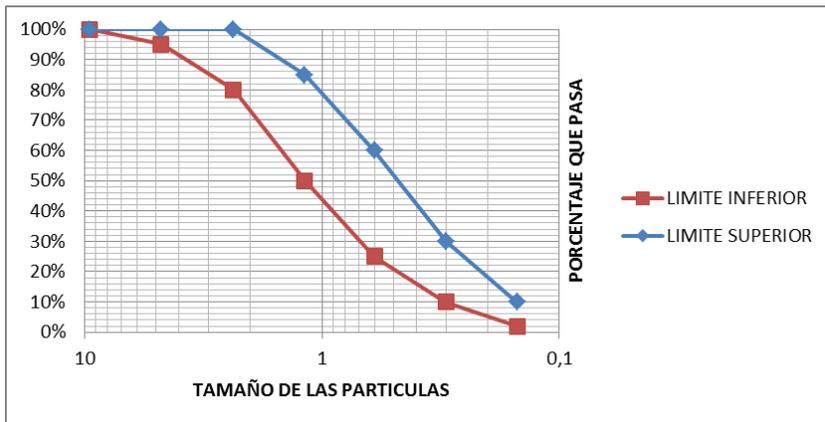
Fuente: NTC 174 (2000) Especificaciones de agregados para concretos

**Tabla 6. Los límites de los granulométricos para agregados finos**

TAMIZ NTC 32	Porcentaje que pasa
9.5 mm	100
4.75 mm	95 a 100
2.36 mm	80 a 100
1.18 mm	50 a 85
600 $\mu\text{m}$	25 a 60
300 $\mu\text{m}$	10 a 30
150 $\mu\text{m}$	2 a 10

Fuente: NTC 174 (2000) Especificaciones de agregados para concretos

**Figura. 2 Límites granulométricos para el agregado fino.**



Fuente: NTC 174 (2000) Especificaciones de agregados para concretos

Módulo de finura:

Está definido como la suma de los porcentajes retenidos acumulados de los tamices de la serie estándar y que cumplen con la relación 1:2 desde el tamiz N°100 en adelante hasta el máximo tamaño que se encuentre y dividido por 100.

Este valor para el agregado fino debe estar entre 2.3 y 3.1, además no debe variar en 0,2 del módulo de finura tomado como base en una determinada fuente.

#### 4.4.3 Granulometría para agregado grueso

Se puede utilizar como agregado grueso materiales como grava, grava triturada, roca triturada, escoria de alto horno enfriada al aire. También se permite el uso de concreto hidráulico triturado, o combinación de estos materiales.

Sin embargo la norma en su nota 5 aclara que el uso de concreto hidráulico triturado puede requerir precauciones adicionales ya que puede ocurrir que:

- el agua de mezcla puede incrementarse debido a la rugosidad del agregado.
- El concreto parcialmente deteriorado, usado como agregado puede reducir la resistencia al ciclo hielo-deshielo, afectar las propiedades de los vacíos de aire o sufrir degradación durante la manipulación, mezclado colocación.
- El concreto triturado puede tener componentes susceptibles a la reactividad álcali-agregado o al ataque por sulfato en el concreto nuevo. Los agregados gruesos deberán cumplir con los requisitos de gradación consignados en la tabla 7.

**Tabla 7. Franjas granulométricas para el agregado grueso.**

NUMERO DEL TAMAÑO DEL AGREGADO	TAMAÑO NOMINAL TAMICES DE ABERTURA CUADRADA	MATERIAL QUE PASA UNO DE LOS SIGUIENTES TAMICES (PORCENTAJE EN MASA)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37.5 mm	25.0 mm	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63 a 37.5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25.0 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
357	50 a 4.75 mm (N° 4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10,-30	-	0-5	-	-
4	37.5 mm a 19.0 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
467	37.5 mm 4.75 mm ( N° 4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10,-30	0-5	-	-
5	25.0 mm a 12.5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-
56	25.0 mm a 9.5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10,-40	0-15	0-5	-	-
57	25.0 mm a 4.75 mm ( N° 4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-
6	19.0 mm a 9.5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
67	19.0 mm a 4.75 mm ( N° 4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
7	12.5 mm a 4.75 mm ( N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	9.5 mm a 4.75 mm ( N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	0-30	0-10	0-5

Fuente: Fuente: NTC 174 (2000) Especificaciones de agregados para concretos

#### **4.4.4** Tamaño máximo del agregado:

Es la abertura de menor tamaño que permite el paso del 100% de la muestra.

#### **4.4.5** Tamaño máximo nominal:

Corresponde a la menor abertura de tamiz inmediatamente superior a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es 15% o más

.Lo que indica es el tamaño promedio de las partículas más grandes que hay dentro de la muestra de agregado. (Sánchez, 1993)

#### **4.4.6** Forma:

La forma de las partículas de un agregado juega un papel fundamental para lograr un alto grado de acomodación y compactación de las partículas, lo que deriva una mayor densidad y por tanto una mayor resistencia en el concreto. Las formas más adecuadas son las redondeadas y las cúbicas,

El Agregado de concreto reciclado por ser producto de trituración contiene un alto porcentaje de partículas angulares, lo que genera una alta absorción es decir mayor contenido de agua en la mezcla que necesariamente implican un aumento en la cantidad de cemento a utilizar para poder mantener la relación agua cemento y no afectar la resistencia.

Además la partículas angulares y cubicas pueden restar manejabilidad a la mezcla sin embargo una adición de agregado de grava natural y ACR mezclados pueden ser solución a estos problemas.

Se debe tener en cuenta agregados producto de trituración como los es el ACR deben tener una forma aproximadamente cubica y con un porcentaje máximo de partículas aplanadas o alargadas del 15% para que no tenga grandes efectos negativos sobre la manejabilidad. (Sánchez D. G., 1993)

#### Relación pasta agregados:

Es la relación que hay entre la cantidad de pasta y área superficial de los agregados que esta debe cubrir y lubricar, en la medida que esta relación tenga un valor alto los agregados podrán moverse libremente dentro de la mezcla, con un valor bajo la mezcla se volverá granulosa y áspera.

## **4.5 CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO**

El control de calidad del concreto pretende hacer de este puesto en obra, el resultado fiel del diseño para lo que se deben tener ciertas recomendaciones en su manejo dadas por el fabricante.

Este consiste en la implementación de pruebas sujetas a un análisis estadístico, además de verificación de que los procesos de selección de materias primas, fabricación y puesta en obra se hagan de forma correcta.

Por características propias del concreto como producto terminado, las pruebas están realizadas en función del tiempo, ya que este adquiere su resistencia máxima a un término por lo general de 28 días aunque existen concretos acelerados a 3 o 7 días después de su colocación, sin embargo esto constituye un inconveniente para detectar problemas a tiempo, por lo que se han desarrollado pruebas rápidas realizadas inmediatamente después que sale de la olla de mezclado o al momento de la colocación, con estas pruebas se pretende prever posibles problemas futuros partiendo del principio de que el uso de materias primas de calidad, mezcladas en proporciones justas debe conducir a un producto que finalmente alcance sus cualidades potenciales. Las pruebas de este tipo más comúnmente utilizadas son las de asentamiento, peso unitario, contenido de aire y medida de la temperatura.

La prueba técnica de laboratorio más común y confiable hasta el momento es la de la norma técnica colombiana NTC – 396. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto- Se coloca una muestra de concreto fresco en un molde cónico y se compacta mediante el uso de una varilla, luego se levanta el molde permitiendo el asentamiento del concreto el cual corresponde a la diferencia entre la posición inicial y la desplazada de la superficie superior del concreto. Esta la debe realizar el cliente tan pronto llega el viaje a la obra. (Sánchez D. G., 1993)

Las pruebas de asentamiento se harán por cada cinco (5) metros cúbicos de concreto a vaciar y Los asentamientos máximos para las mezclas proyectadas serán los indicados al respecto para cada tipo, de acuerdo con la geometría del elemento a vaciar y con la separación del refuerzo.

### **4.5.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Siguiendo lo estipulado en el capítulo c del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 Las muestras serán ensayadas con el "ensayo de resistencia a la compresión norma ICONTEC NTC – 673 y elaboradas

de acuerdo con la norma ICONTEC NTC – 550. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra.

Cada ensayo debe ser el resultado promedio de las resistencias de al menos dos probetas de 300 mm x 150 mm o de tres probetas de 100 mm x 200 mm, La edad normal para ensayos de los cilindros de prueba será de veintiocho (28) días, pero para anticipar información que permitirá la marcha de la obra sin demoras extremas, dos de los cilindros de cada ensayo serán probados a la edad de siete (7) días, calculándose la resistencia correlativa que tendrá a los veintiocho (28) días. En casos especiales, cuando se trate de concreto de alta resistencia y ejecución rápida, es aceptable la prueba de cilindros a las 24 horas, sin abandonar el control con pruebas a 7 y 28 días.

Las tomas de concreto en obra se realizarán a partir de los siguientes criterios.

1. una muestra cada 200 m<sup>2</sup>. En caso de placas
2. Si es un concreto industrializado se realizara una muestra cada 40 m<sup>3</sup> por tipo de concreto
3. Si es fabricado en obra se realizara una muestra cada 50 tandas.

Aceptación:

El código colombiano de construcciones sismo resistentes, establecen que para evaluar los defectos de la resistencia final del concreto a los 28 días de edad y considerar satisfactorio los niveles de resistencia de cada clase de concreto se deben cumplir simultáneamente los siguientes requisitos:

- Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a  $f'_c$
- Ningún resultado de resistencia individual es menor que  $f'_c$  por más de 3.5 Mpa cuando  $f'_c$  es 35 Mpa o menor; O por más de 0.10  $f'_c$  cuando  $f'_c$  es mayor de 35 Mpa.

#### **4.5.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO DE CILINDROS**

Los cilindros se funden en moldes de acero o hierro fundido que tienen 150 mm de diámetro por 300 mm de altura aunque se permiten moldes de 100 mm x 200 mm o de 125 x 250 mm siempre que este diámetro sea por lo menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado.

Los cilindros se deben elaborar pronto sobre una superficie nivelada y lo más cercano posible con su lugar de almacenamiento.

Una vez la muestra de concreto ha sido correctamente seleccionada se procede de la siguiente manera:

Se determinara el método de fundida de los cilindros de acuerdo con la siguiente tabla:

**Tabla 8 requisitos de tamaño y tipo de modelo**

TIPO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN PROFUNDIDAD EN mm	MÉTODO DE COMPACTACIÓN	NUMERO DE CAPAS	PROFUNDIDAD APROXIMADA DE LA CAPA
Cilindros			
300 o menos	Apisonamiento	3 iguales	100 o menos
más de 300	Apisonamiento	las que se quieran	100 o menos
300 o menos	Vibración	2 iguales	150 o menos
300 a 450	Vibración	2 iguales	Media profundidad del espécimen
más de 450	Vibración	3 o mas	200 0 lo más cerca posible
Vigas			
150 a 200	Apisonamiento	2 iguales	Profundidad media de espécimen
más de 200	Apisonamiento	3 iguales	100
150 a 200	Vibración	1	Profundidad del espécimen
más de 200	Vibración	2 o mas	200 0 lo más cerca posible

Fuente: NTC 550. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra.

Se coloca el concreto en el molde en el numero requerido de capas con volúmenes lo más aproximadamente iguales, se apisonan las capas con el extremo redondeado de la varilla penetrando 12 mm la capa inferior en capas de menos de 100 mm y 25 mm en capas de 100 o más mm, los golpes se deben distribuir uniformemente sobre la sección transversal del molde. Luego de apisonar cada capa se golpea suavemente de 10 a 15 veces sobre los del molde con el martillo

La vibración en caso de ser requerida se realizara en el número requerido de capas, para el caso de los cilindros se realizaran tres inserciones en diferente puntos de la capa penetrando aproximadamente 25 mm en la capa

inmediatamente inferior. Al terminar el vibrado se golpea suavemente los bordes del molde entre 10 y 15 veces.

La superficie se debe enrasar con ayuda de la varilla compactadora también se puede usar una llana de madera o un palustre.

Los especímenes se deben cubrir con una platina u hoja no absorbente

#### **4.5.3 Curado:**

Se almacenan los especímenes en un sitio de curado inicial a una temperatura de entre 16 a 27 C° y en un ambiente húmedo, los moldes se retiraran en un periodo de entre 16 a 32 horas.

Se iniciara un periodo de curado final en un tiempo no mayor de 30 minutos después de retirado el molde en un ambiente húmedo con agua libre sobre la superficie del cilindro.

## 5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La construcción consume grandes volúmenes de materias primas y genera enormes cantidades de escombros procedentes de la demolición de edificios o de desperdicios de materiales provenientes de obras nuevas o de reformas en viviendas y edificaciones. Pero es el concreto el material de construcción de mayor producción en el planeta. Además los recursos naturales no renovables de los que se producen los agregados para concreto no son infinitos, y con el paso del tiempo se ha ido notando que su agotamiento se está incrementando de una forma acelerada tanto por la explotación de materiales de río como de canteras (Valdés & Rapimán, 2007; Asocreto, 2012; IMCYC, Instituto Mexicano del cemento y concreto, 1990; Bedoya, El Concreto Reciclado Con Escombros, 2003).

Es por eso que las nuevas generaciones de ingenieros, tienen la tarea de buscar, hacer de este material, un producto más ecológico, por su puesto sin perder su sostenibilidad económica (Asocreto, 2012).

En este proceso han sido bastantes los usos a los que se somete el concreto proveniente de las demoliciones de estructuras, por ejemplo mediante su debido proceso de trituración se ha destinado a formar parte importante como agregado grueso de una nueva mezcla de concreto para fines constructivos

Aun así en el medio de la construcción existen incertidumbres en cuanto a sus características técnicas y posibilidades de producción, motivo por el cual gran cantidad de escombros de concreto terminan en botaderos aun cuando sus características pueden llegar a permitir su reutilización.

### 5.1 FORMULACIÓN

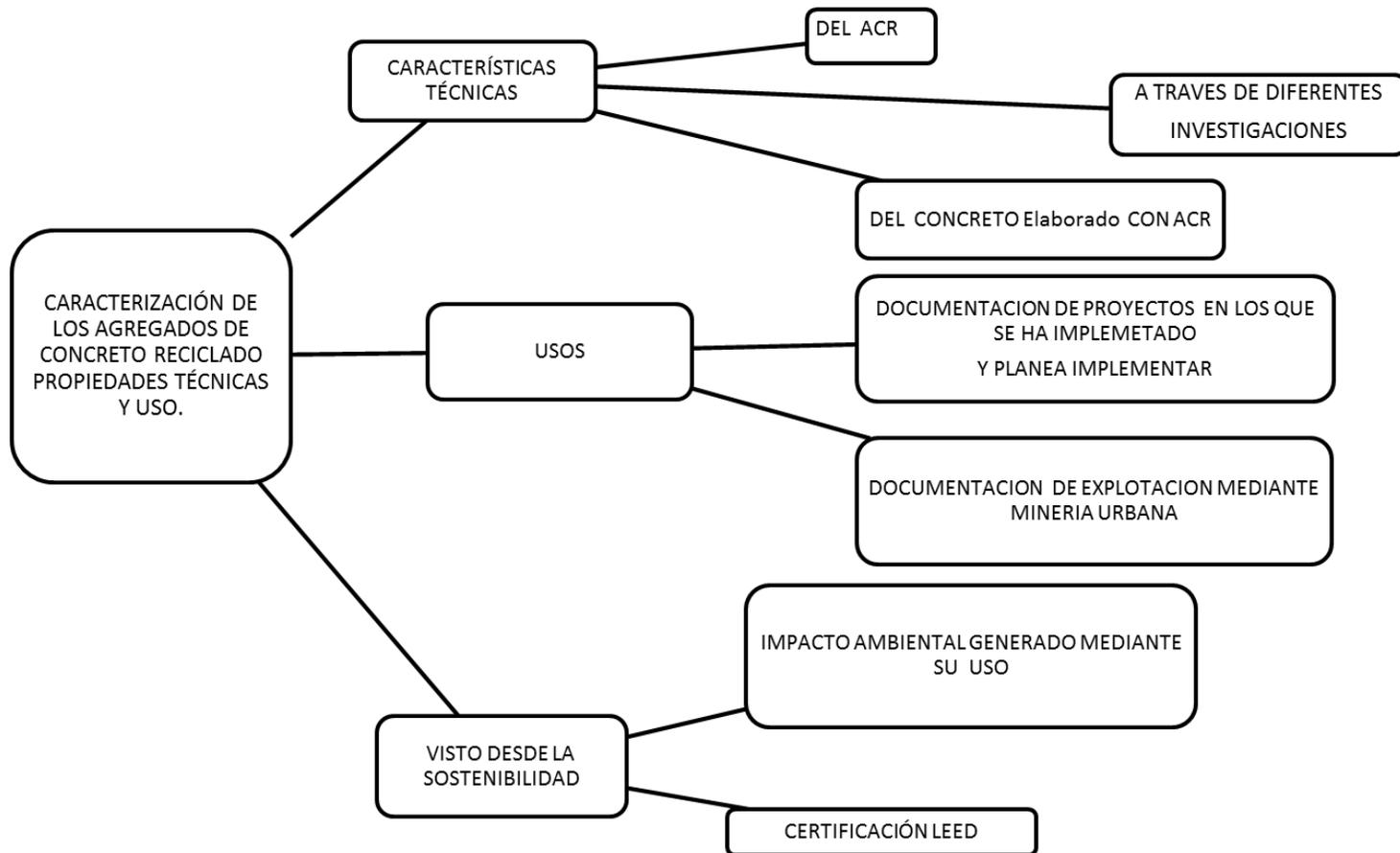
¿En la actualidad cuales son los avances y conclusiones a los que se ha llegado respecto a las características del agregado de concreto reciclado, las mezclas elaboradas con este y en qué tipo de proyectos se ha usado?

## **6. DISEÑO METODOLÓGICO**

En el desarrollo de este trabajo se estudió bajo un análisis descriptivo de la información, para la cual se recolectó información de diferentes fuentes que tuvieran alguna relevancia sobre el tema y además generaran aportes en el uso de RCD y ACR. Esta información se compactó con el objetivo de encontrar puntos en común y divergencias entre los diferentes estudios y experiencias analizadas.

Teniendo en cuenta la información, las normas técnicas y leyes que están vigentes se encuentra una variedad de información; algunas con puntos en común, pero otras con discrepancias entre las conclusiones, lo que hace visible que es importante tener en cuenta el proceso dentro del entorno de forma holística ya que este último es el primer indicador del impacto de los proyectos creados con RCD y ACR.

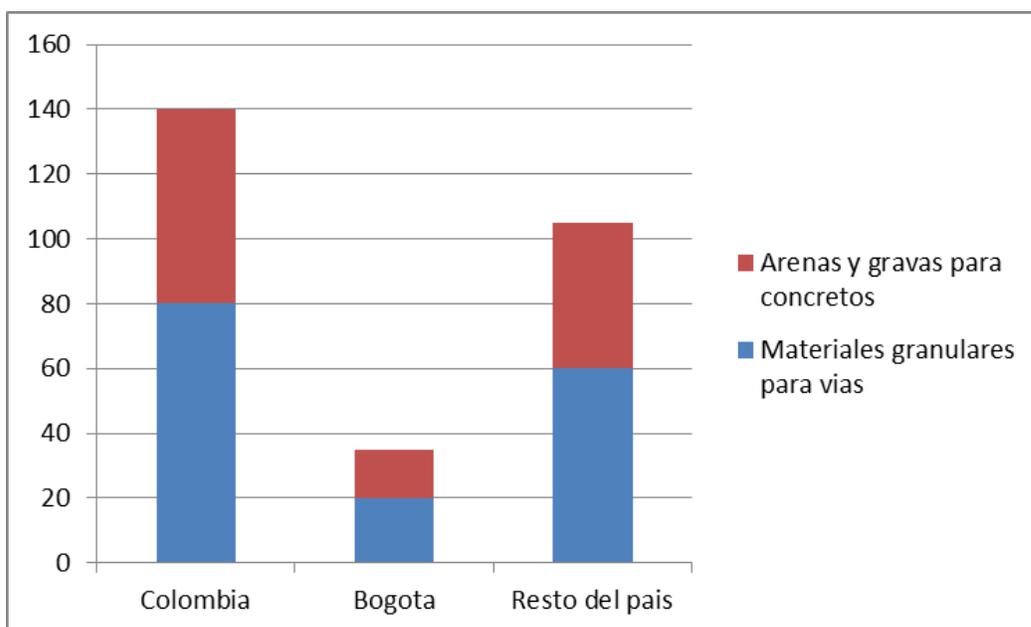
Figura. 3. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO.



## 7. EXPECTATIVAS Y DESARROLLO

Colombia es un país en desarrollo con una creciente demanda de materiales de construcción. Entre estos áridos para uso como agregados en concreto.

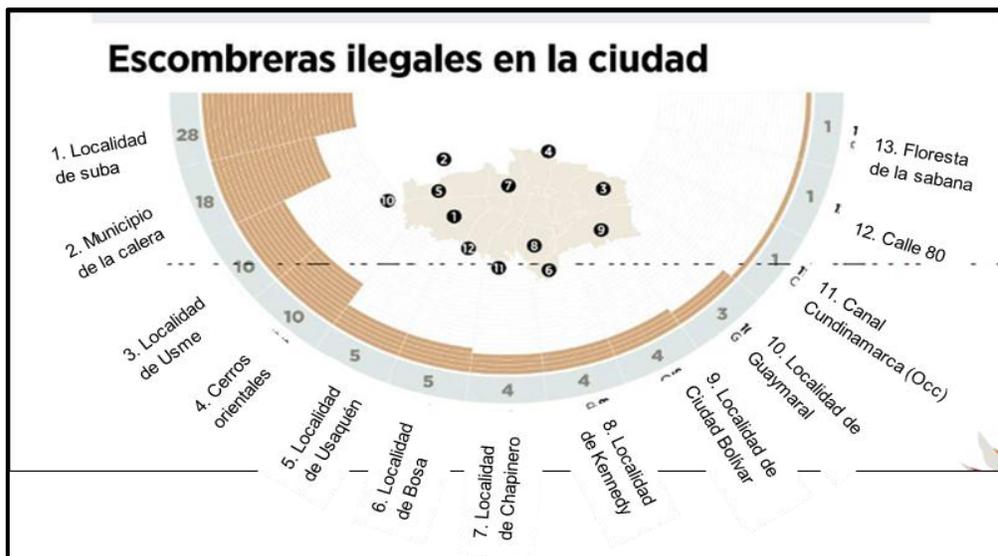
**Figura. 4. Demanda de agregados en Colombia miles de millones de toneladas año.**



Fuente: Asogravas, 2010

Además ciudades como Bogotá generan grandes volúmenes de RCD, las políticas adoptadas aun no son suficientes por lo que grandes cantidades de escombros mezclados con residuos ordinarios terminan en botaderos como doña Juana o en lotes no autorizados. (Asogravas, 2010)

**Figura. 5. Escombreras ilegales en la ciudad de Bogotá.**



Fuente: Duica 2012

**Tabla 9 Generación de Residuos en algunas regiones del país**

CIUDAD	MILLONES TONELADAS AÑO
Bogotá	12
Valle de Aburra	4.5
Cali	4

Fuente: Asogravas, 2010

También es la industria de la construcción la generadora de grandes volúmenes de escombros, (Duica, Diciembre del 2012) que para el año 2012 manejando como referente el caso de Bogotá se estimaba en unos 6.600.000 m<sup>3</sup> al año y una proyección para el año 2020 de 10.000.000 m<sup>3</sup> año.

**Tabla 10. Generación de RCD privada + publica.**

SECTOR	M3 / AÑO	M3/DÍA	TON /AÑO	VIAJES/DÍA (10 m <sup>3</sup> )
Const. Privada(4.300.000 m <sup>2</sup> /año CAMACOL, 0.1 M3/M2)	430'000	1'400	602'000	145
COSTO. PRIVADA (CAMACOL 1,4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	6'020'000	20'000	8'428'000	2'000
PUBLICO	2'700'000	9'000	3'780'000	900
TOTAL ESC 1	3'130'000		4'382'000	1'045
TOTAL ESC 2	8'720'000		12'208'000	2'900

Fuente: Asogravas, 2010

Dentro de los residuos de construcción, se encuentra el concreto de demoliciones clasificado como tipo I, de acuerdo a lo establecido por el programa basuras cero, y del cual se plantea su uso como agregado, luego de un proceso de trituración en una planta de tratamiento autorizada.

El programa basuras cero que se encuentra en proceso de implementación en Bogotá mediante su proyecto escombros cero plantea un modelo que comprenda los siguientes componentes:

- Concesionarios de Aseo
- Puntos de acopio
- Planta de tratamiento de escombros
- Plantas de aprovechamiento de escombros
- Sitios de disposición final o escombreras
- Disposiciones legales

Pretende garantizar que todos los generadores de escombros tanto en el sector público como privado, realicen las acciones necesarias para dar un manejo adecuado de los escombros generados, esto amparado en la resolución 01115 de la secretaria distrital de ambiente.

Pero es precisamente en esta resolución, donde encontramos los argumentos más sólidos para hablar de expectativas de desarrollo del uso de concreto triturado como agregado, ya que en ella se establece que las empresas constructoras, y entidades públicas que desarrollen proyectos de infraestructura dentro del perímetro de la ciudad de Bogotá, deberán garantizar la utilización de no menos de un 5% de residuos de construcción y demolición medido en volumen o peso del total de los materiales usados en la obra. Este porcentaje aumentara año tras año en un 5% hasta alcanzar un mínimo de 25%.

0000000

También se reglamenta en esta resolución las obligaciones de los grandes generadores y poseedores de los residuos de construcción y demolición, sitios de tratamiento y aprovechamiento, transportadores. Y se establece que los materiales resultantes de estos procesos deberán cumplir con las especificaciones técnicas para ser usados en obras de infraestructura y construcción. (Secretaría de medio ambiente distrital de Bogotá, 2012)

## **7.1 El papel del reciclaje de concreto dentro del desarrollo sostenible.**

Son muchas las definiciones que podemos encontrar del concepto de sostenibilidad, relacionado con los efectos que a futuro pueden producir las actividades realizadas en el presente. Un desarrollo sostenible es aquel que responde a las necesidades de las generaciones contemporáneas sin poner en riesgo la capacidad de las generaciones futuras para suplir sus propias necesidades. (Ordomez Amoroso, 2013)

La reutilización de los residuos producidos por la industria, es uno de los ejes que abarca el concepto de sostenibilidad, dejó de ser una buena práctica y se ha convertido en una exigencia que se desarrolla desde los organismos ambientales, los gobiernos y los propios gremios que buscan satisfacer las necesidades de la sociedad. Para el caso de los residuos son necesidades relacionadas con la incapacidad de la adecuada disposición sin generar problemas futuros, Sumado a la necesidad de reducir el consumo de recursos naturales no renovables.

Pero uno de las más importantes organizaciones que lidera la transformación de códigos de construcción a nivel mundial es el consejo de construcción sostenible de los estados unidos (USGBC), Responsable del programa de liderazgo de energía y certificación ambiental (LEED), herramienta con la cual se busca la calidad ambiental de los proyectos de construcción, midiendo sus impactos ambientales producidos en todas las etapas del proyecto. (Bejarano, 2014)

Dentro de los principales criterios de evaluación se encuentra los materiales y recursos empleados, se mide el impacto del ciclo de vida de la edificación así como el de los materiales utilizados, el ciclo de vida del concreto influye positivamente gracias a su alta durabilidad y capacidad para ser reciclado (Bejarano, 2014) (Eljaik Usola , Quiñones Bolaños, & Mouthon Bello, 2011)

Para el futuro cercano el uso de materiales reciclados tomo relevancia gracias a que el USGBC realizo el lanzamiento de la certificación LEED V4 la cual imprime importancia a los materiales que ofrezcan transparencia ambiental, uno de sus principales objetivos es promover el uso de materiales con ciclos de vida sostenibles y regenerativos. Es por eso que la ingeniería avanza hacia la consecución de materiales que cumplan con estas características o la transformación de los ya existentes para su adaptación.

Otros objetivos de la certificación LEED V4 son:

- Reducción del impacto del ciclo de vida de la edificación
- Divulgación del producto y optimización
- Reducción de los desechos de construcción y demolición

Para el caso colombiano se creó alianzas entre el CCCS y el USGBC que han permitido que algunas edificaciones construidas recientemente hayan logrado obtener certificaciones LEED. Siendo casos como:

- El del edificio corporativo de ALPINA en Sopo Cundinamarca en el que se utilizaron un 7% de materiales reciclados.
- El edificio central de Bancolombia en Medellín
- La ciudad empresarial Sarmiento Angulo,
- Novartis, por mencionar algunos. (Eljaik Usola , Quiñones Bolaños, & Mouthon Bello, 2011)
- Aloft Hotel Bogotá Airport: primer hotel con certificación LEED en Colombia.
- Centros comerciales: Gran plaza san Antonio, Pitalito, Huila.
- Centros Especializados San Vicente: Rio Negro Antioquia.
- Complejo hotelero y turístico Waya en La Guajira
- Homecenter Manizales
- Incolmotos Yamaha / Arquitectos e Ingenieros Asociados – AIA
- Interiores Comerciales Tienda Falabella Centro Comercial Santafé en Medellín
- Interiores Comerciales Tienda Falabella Centro Mayor en Bogotá
- Nueva Sede Colegio Rochester
- Nueva Sede del Banco GNB Sudameris, Bogotá.
- Oficinas Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) en Bogotá, Colombia
- Oficinas Constructora Conconcreto S.A. en Medellín
- Proyectos' Oficinas CONTEMPO en Bogotá- en busca de certificación
- Proyectos Oficinas de ISAGEN en Medellín- en busca de certificación
- Panoramic Eco Business Club Torre 1: Nueva certificación LEED en Colombia.
- Proyecto corporativo: CONNECTA Módulos A y B, Bogotá.

## **7.2 El caso de CEMEX**

Grandes empresas concretaras han logrado el aprovechamiento de residuos de mampostería y concreto como agregado para nuevo concreto por ejemplo la multinacional CEMEX. Que mediante la trituración de estos en su planta de Tunjuelo en Bogotá logra obtener productos como:

- Grava RCD de concretos
- Arena RCD de concretos
- Grava RCD de mampostería
- Arena RCD de mampostería

Según resultados presentados por CEMEX los agregados producto de trituración de concreto presentan deficiencias para cumplir la normatividad colombiana en el porcentaje de absorción, sin embargo se cuenta con dos procesos para su obtención uno húmedo y otro seco siendo el proceso húmedo el de mejores resultados en general.

La producción de concreto elaborado por Cemex usando ACR en un 100% se limita a concretos de entre 105 kg/cm<sup>2</sup> y 210 Kg/cm<sup>2</sup> para mayores resistencias se usan en proporciones es decir mezclado con agregados naturales. (Cemex, 2012)

## **7.3 Reciclados Industriales:**

Es una empresa colombiana dedicada al aprovechamiento de escombros, residuos de construcción y demolición, Esta empresa recibe los RDCS, producidos en la industria de la construcción tanto del ámbito privado como del público. Realiza procesos certificados de disposición de residuos, procesos de reciclaje de los cuales se obtiene materiales granulares para ser reutilizados en diferentes proyectos y que cumplen con las especificaciones técnicas.

Los productos que lleva al mercado son:

- Grava y arena para concreto
- Materiales para prefabricados
- Bases granulares tipo IDU E INVIAS. (Vallejo, 2014)

#### **7.4 Ciclomat:**

Es una empresa colombiana dedicada a la minería urbana que busca el aprovechamiento y transformación de residuos de construcción en nuevos materiales de construcción.

Entre los servicios que presta se encuentra el procesamiento en obra de RCD mediante la utilización de equipos móviles, con lo cual se genera:

- Disminución de costos de transporte
- Generación de material en obra
- Aprovechamiento total de escombros pétreos.
- Disminución de costos de agregados
- Cumplimiento de la resolución 01-115-2012 de la SDA

También ofrece para la venta arenas para concretos, arenas para morteros y triturados.

- Prefabricados como bloque vertical de concreto N° 14 y N° 20
- Adoquín 10 X 20 8
- Productos especiales como estucos y mortero seco todo proveniente de RCD

#### **7.5 OTROS USOS DEL ACR**

El ACR usado como material para bases o sub bases ofrece ventajas como por ejemplo no necesita la utilización de equipos especiales, no se degrada durante el transporte, se puede asegurar su gradación, se puede compactar usando equipos convencionales, sin embargo puede demandar mucha agua para llegar a los contenidos óptimos para su compactación, se debe controlar su segregación y debe evitarse colocarlo sobre suelos sulfatados ya que es posible que ocurra una reacción expansiva. (Asocreto, 2011)

En la ciudad de Cartagena los estudiantes de uni\_cartagena, realizaron una investigación sobre el aprovechamiento de los escombros generados en actividades de demolición de placas de pavimentos. En el cual se evaluó, el

aprovechamiento de escombros en la elaboración de bloques de concreto macizo y huecos no estructurales, y como agregado grueso en la elaboración de concretos. En los cuales concluyeron que el concreto con escombros es un producto más poroso que el concreto elaborado con agregados naturales, y por tanto puede facilitar la corrosión del acero causada por la penetración de agentes externos. (Eljaik Usola , Quiñones Bolaños, & Mouthon Bello, 2011)

## 8. EXPERIENCIAS Y PROPUESTAS CONSTRUCTIVAS

Los agregados de concreto reciclado, se han convertido en una alternativa aplicada a grandes proyectos ingenieriles en diferentes partes del mundo, gracias a sus buenos resultados, en cuanto a características técnicas, beneficios económicos y ambientales. Por lo que su uso ha sido fomentado desde diferentes organizaciones vinculadas con la construcción y la infraestructura; Por ejemplo su uso ha sido apoyado por La Administración Federal de Autopistas de Los Estados Unidos (FHWA), para ser utilizado en rehabilitación de carreteras y aeropuertos.

### 8.1 Parque de los humedales de Hong Kong.

Resulta de especial interes constatar que los resultados expuestos por diferentes investigadores concuerdan con los resultados obtenidos de procesos constructivos agran escala.

El concreto estructural usado para la remodelación de este parque, ubicado al noreste de Hong Kong, fue elaborado con agregados reciclados provenientes de la demolición de la estructura anterior, de estamanera se obtubieron mas de 5000 m3 de concreto.

Durante el proceso se realizaron pruebas en los concretos usados, cuyos resultados muestran una no muy significativa diferencia entra la resistencia a la compresion de los concretos elaborados con ACR y los que usaban agregado natural, sin embargo, para lograr estos resultados fue necesario el aumento en la cantidad de cemento usada por metro cubico de concreto, debido a que los agregados reciclados tiene una mayor absorcion.

**Tabla 11. Pruebas de concreto con ACR**

Asentamiento en cm	ACR (%)	Contenido de cemento (Kg/m3)	Relación A/C	f'c a los 28 días (Mpa)	Desviación estándar 40 muestras
10	20	395	0,466	47,3	2,8
10	0	380	0,473	48,2	4,1
7,5	20	380	0,468	47,1	4,8
7,5	0	365	0,479	45,8	4,5
7,5	20	360	0,486	44,7	4,4
7,5	0	345	0,507	42,1	4,7
7,5	100	300	0,607	31,4	5
7,5	0	390	0,603	32,8	4,4

Fuente: Asocreto, 2012

**Figura. 6. Parque de los humedales Hong Kong**



## **8.2 Aeropuerto Internacional de Denver.**

El aeropuerto de Denver, Colorado, es uno de los más grandes del mundo para su renovación fueron usados aproximadamente 6,5 millones de toneladas de agregado reciclado proveniente de la demolición de la antigua estructura, los agregados fueron usados como agregado para concreto y como sub-base en las vías de acceso. (Asocreto, 2012)

**Figura. 7. Aeropuerto internacional de Denver.**



### **8.3 Puente Abraham Lincoln sobre el río Illinois.**

En el año de 1997 se realizó la rehabilitación de este puente en una longitud 2.170 m, proceso del cual se obtuvieron 160.000 toneladas de concreto y 500 mil metros de acero los cuales fueron reutilizados.

El concreto tuvo dos usos fundamentales como agregado para las mezclas a utilizar en la nueva estructura y como sub-base de vías aledañas; Pero es de resaltar que se calculó un ahorro de US\$ 1.8 millones en costos del proyecto (Asocreto, 2012).

### **8.4 VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL Y PRIORITARIO SOSTENIBLES EN COLOMBIA – VISS Y VIPS-MATERIALES RECICLADOS**

América Latina es un continente en el cual existen muchas ciudades altamente pobladas y en las que sus habitantes no tienen acceso a una vivienda digna.

En Colombia, en los últimos años se ha adelantado un gran proyecto cuyo fin es brindar un tipo de vivienda digna a todas aquellas clases sociales de menores ingresos económicos. Una Vivienda de Interés Social Sostenible (VISS) y una Vivienda de Interés Prioritario Sostenible (VIPS), en cuyo proyecto se ha tomado como alternativa viable en su ejecución hacer uso de materiales que ya han sido utilizados en la construcción de otra clase de estructuras, materiales que con un debido y minucioso análisis de calidad pueden llegar a formar parte importante de estas nuevas viviendas. De igual manera este proyecto busca que estos tipos de vivienda cumplan con especificaciones de gran importancia como lo son: Bajo costo, Alta calidad ambiental, Climatización en línea de confort, Eficiencia energética, Eco-materiales, Espacios ergonómicos. (Bedoya, 2011)

En el departamento de Antioquia, en su capital Medellín ya se han construido algunas viviendas en las que se utilizó para su construcción una mezcla de concreto reciclado que se empleó en la elaboración de paneles, utilizados para vivienda prefabricada. Allí se reemplazó el 100 % de los agregados naturales por los obtenidos del reciclaje de los escombros. Por otra parte se aprovecha la luz solar para iluminación natural, también son utilizadas las llamadas cenizas volantes generadas por la combustión de carbón utilizado en las industrias las cuales tras investigaciones se ha determinado pueden servir como un material de primera para la producción de cementos adicionados (Bedoya, 2011)

**Figura. 8. Vivienda de interés Social construida con paneles de concreto reciclado Medellín Colombia.**



Fuente: Bedoya 2011

### **8.5 EL HORMIGÓN RECICLADO, ALTERNATIVA PARA RECONSTRUIR EDIFICIOS EN HAITÍ**

Una investigación llevada a cabo por algunos ingenieros de Georgia Tech ha logrado concluir que una mezcla confeccionada con escombros de hormigón, obtenidos de las estructuras que colapsaron luego del terremoto devastador que allí se presentó en enero de 2010, junto con otra clase de materias primas podría ser de bastante uso para construir nuevos edificios en este país centroamericano.

“El material alcanza estándares de resistencia similares a los utilizados en Estados Unidos, siendo además más económico y seguro que otras alternativas.” (Piacente, 2011).

Debido a los minuciosos estudios que se han practicado a este tipo de material se ha deducido que al ser triturado y bien procesado, las partículas que se obtienen de este proceso presentan propiedades físicas, mecánicas muy similares a las de materiales naturales que son utilizados en su gran mayoría en la construcción de grandes edificaciones en países desarrollados. El hormigón reciclado llegaría a alcanzar los estándares de resistencia mínima exigidos en los Estados Unidos.

Por otra parte las ventajas de esta técnica de reciclado son múltiples. Por un lado, las grandes cantidades de escombros de hormigón y de materiales de construcción en general se comenzarían a retirar de los lugares en que se encuentran ya que esto contribuirá drásticamente en la descontaminación

presente en este país. De esta manera se facilitara mucho más su manipulación y su nuevo procesamiento para su reutilización.

Los ingenieros encargados de la investigación realizaron varios viajes a Haití con el fin de recoger muestras de escombros de hormigón y de dos tipos de arena disponibles en la zona, para ser utilizados como agregados finos en una mezcla destinada a la preparación del nuevo concreto económico.

### **8.6 PROYECTO DE APARTAMENTOS AKAROA, DE LA CONSTRUCTORA ARRECIFE**

En este caso se demolieron 33 casas en 49 días, un proceso del cual se obtuvo un 93% de recuperación de materiales 4.419 m<sup>3</sup> de residuos pétreos proveniente del concreto utilizado en las viviendas. El proceso de deconstrucción se realizó bajo el esquema planteado por Maat soluciones ambientales.

**Figura. 9. Apartamentos Akaroa**



Fuente: Consejo Colombiano de construcción Sostenible , 2014

### **8.7 CENTROS COMERCIAL GRAN PLAZA SAN ANTONIO, PITALITO, HUILA**

Durante la fase de construcción se implementaron políticas de reciclaje y reutilización de materiales, que permitieron la recuperación de 97% de los mismos. Se dio prioridad a materiales de la región (92.5%) y en toda la edificación se alcanza un total de materiales con contenido reciclado de 67%, entre los que se

destacan el acero estructural, concreto y divisiones. (Consejo Colombiano de construccion Sostenible , 2014)

## 8.8 ESTADIOS CASTELAO ARENA Y ARENA FONTE NOVA

Para la remodelación de estos escenarios deportivos, que sirvieron como sede del mundial de futbol de 2014, se utilizaron materiales reciclados, para el caso del Castelao Arena se instaló una planta para reciclar todo el hormigón de las estructuras que se demolieron durante la remodelación.

**Figura. 10. Estadio castelao arena**



Fuente:Consejo Colombiano de construccion Sostenible , 2014

## 9. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

### 9.1 EL ACR (agregado de concreto reciclado)

Desde hace algún tiempo se han venido adelantando investigaciones sobre los agregados que son utilizados en las mezclas de concreto para la construcción. Esto debido a que la sociedad debe aprender a utilizar sus recursos, naturales y manufacturados, renovables y no renovables para ejecutar de la mejor manera posible sus proyectos.

Actualmente el tema de reciclar materiales de construcción con el fin de darles un nuevo uso ha tenido gran aceptación en nuestra sociedad, “Debe darse preferencia al empleo de recursos renovables en lugar de los no renovables, así que el concreto que puede ser reciclado para emplearlo como agregado debe preferirse sobre materiales que no pueden ser reciclados” (IMCYC, 1990).

Pero resulta de especial interés la utilización de ACR (agregado de concreto reciclado). Ya que “El hormigón es 100% reciclable, siempre que no esté contaminado. Dependiendo de la calidad del hormigón, triturado puede ser usado con diferentes fines, por ejemplo, como agregado para un nuevo hormigón. Para lo cual se han realizado numerosos estudios con el fin de determinar la calidad y especificaciones técnicas de las materias recicladas”. (Natalini, B, Klees, & Jirina., 2000)

Sus usos más comunes en diferentes partes del mundo son su utilización como agregado para mezclas de concreto, pero también es usado como base o sub-Base en la elaboración de pavimentos.

En varios países Europeos se han venido implementando estas técnicas, con acogimiento muy favorable, debido a que se han reducido muy notablemente los costos, por lo que en la unión europea se producen 195.000 millones de toneladas de ACR al año, que representan un 6% del total de los agregados producidos para esa zona, en países como Holanda, Alemania y el Reino unido el ACR cubre cerca de 20% de la demanda.

En el caso colombiano no se tienen cifras de la utilización del ACR pero ya se venido implementando, y se cuenta con un gran potencial para su utilización, no solo como agregado para mezclas sino también como sub-base para carreteras o estructuras de contención.

debido a esto, se están solucionando varios problemas que afectaban tanto al medio ambiente como a las mismas obras, ya que cuando se realizaban demoliciones, el escombros que se obtenía era retirado hacia botaderos, esto ocasionaba tanto problemas para el constructor como para los entes que controlan el medio ambiente, debido a que se veían en conflicto por realizar su trabajo de buena manera; “El concreto reciclado representa múltiples ventajas para el medio ambiente construido, pues para su producción se emplea como materias primas residuos que no llegarán a cuencas o vertederos para disposición final; también se evita el consumo de recursos naturales no renovables. (Bedoya)

## 9.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS RECICLADOS Y DE LAS MEZCLAS ELABORADAS CON ESTOS

### 9.2.1 ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS RECICLADOS

Son muchas las investigaciones realizadas referentes al tema Alan Buck de la Estación Experimental Waterways del Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos realizo estudios de laboratorio en los cuales se han comparado las propiedades de los agregados que resultan del concreto triturado, con las propiedades de agregados naturales.

Una de las propiedades evaluadas por los estudios realizados por Buck es la absorción de los agregados

**Tabla 12. Absorción de agregados para concreto según Alan Buck 1973**

AUTOR	MATERIAL	TIPO	ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO	ABSORCIÓN AGREGADO FINO
ALAN BUCK	CONCRETO CON CHERT	RECICLADO	4 - 4.3	7.6 - 9
	CONCRETO CON CALIZA	RECICLADO	3.9	ND
	GRAVA CHERT	NATURAL	2.6	4
	CALIZA PICADA	NATURAL	0.8	4

Fuente: (Bedoya, El concreto reciclado con escombros, 2003)

Encontrando que el agregado reciclado posee una mayor absorción que el agregado natural, esto aplica tanto para agregado grueso como agregado fino.

Los agregados provenientes de la trituración de concreto por lo general poseen una absorción mayor que los agregados naturales ya que son más poros y ligeros.

A continuación se muestran resultados obtenidos en diferentes investigaciones:

**Tabla 13. Absorción de agregados para concreto según departamento de transporte de Michigan 1981**

AUTOR	MATERIAL	TIPO	ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO %	ABSORCIÓN AGREGADO FINO
FERGUS	MATERIAL RECICLADO	UN RECICLADO	3.43-5.00	7.17-8.31
	MATERIAL RECICLADO	DOS RECICLADO	8.36	ND
	GRAVA COMÚN	NATURAL	1.02	1.38

Fuente: Cruz & Velázquez, 2004

La absorción, es mayor en el agregado reciclado que en el agregado natural y aumenta si se realiza un nuevo ciclo, si se comparan el 1,2% del agregado natural con 5 % del agregado reciclado la proporción sería cerca de cinco veces lo que seguramente implicaría un reto para el diseño de la mezcla manteniendo la resistencia sin generar efectos dramáticos en los costos, efecto aún más difícil de controlar para el caso del agregado fino donde se incrementa el porcentaje de absorción en una proporción mayor.

**Tabla 14 absorción de los agregados reciclados según Carlos Bedoya**

AUTOR	MATERIAL	TIPO	ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO	ABSORCIÓN AGREGADO FINO
CARLOS BEDOYA	ND	CONTROL	3,45	1,26
		CONCRETO RECICLADO	8,34	5,35

Esta tendencia parece mantenerse aunque en una proporción menor para el caso de la investigación realizada por Carlos bedoya.

**Tabla 15 Absorción de los agregados reciclados según Ángela María Hincapié**

AUTOR	MATERIAL	TIPO	ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO	ABSORCIÓN AGREGADO FINO
ÁNGELA MARÍA HINCAPIÉ HENAO	ARENA	RECICLADA	ND	6.84
	ARENA	NATURAL	ND	1.21

Fuente: revista universidad EAFIT.

**Tabla 16 Absorción de los Agregados según Instituto de ingeniería UNAM**

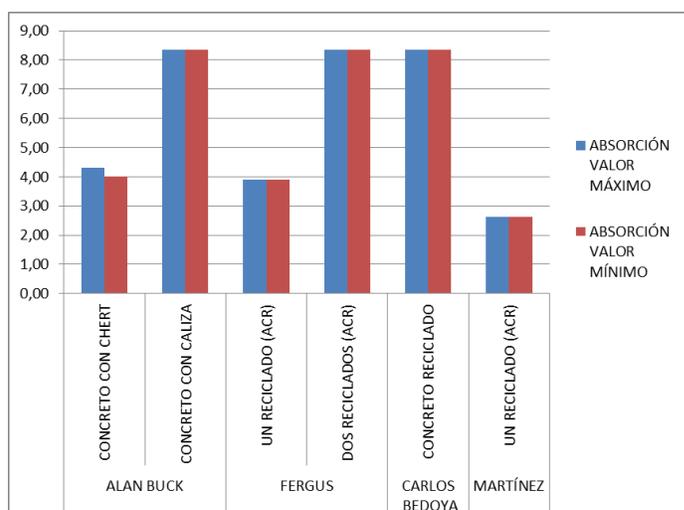
AUTOR	MATERIAL	TIPO	ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO	ABSORCIÓN AGREGADO FINO
MARTÍNEZ	ARENA	RECICLADA	ND	6.03
	ACR	RECICLADA	2.62	ND
	CONTROL	NATURAL	0.42	ND

Fuente: instituto de ingeniería UNAM

La tendencia es constante el agregado reciclado posee una absorción entre tres y cinco veces mayor que la del agregado natural como se muestra en las tablas 11 y 12.

A continuación se muestra de manera gráfica los resultados de diferentes investigaciones tanto para agregado fino como para agregado grueso.

**Figura. 11. Absorción agregado grueso reciclado diferentes autores.**

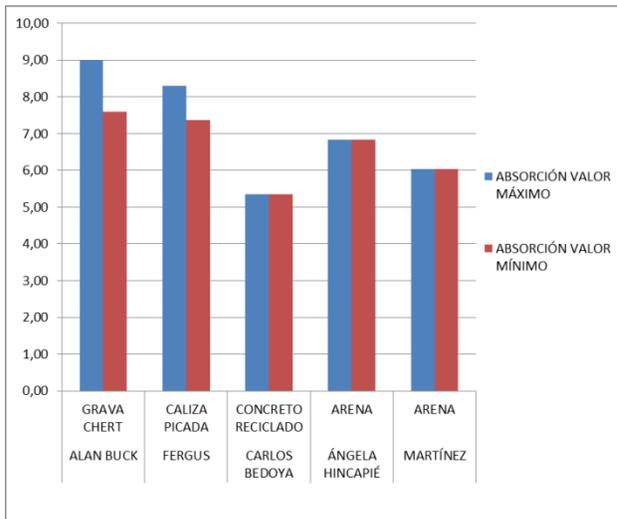


Fuente: Wilson Cárdenas Gabriel Hernández 2014.

Como muestra en la gráfica 6 existe gran variabilidad de los resultados obtenidos por cada una de las investigaciones esto probablemente debido a que las muestras utilizadas provienen de diferentes fuentes y lugares geográficos apartados, mientras los resultados de Fergus y Alan Buck se produjeron en Estados Unidos, Bedoya en Colombia, Martínez en México.

Sin embargo en todos los casos la absorción fue mayor que las muestras de control.

**Figura. 12. Absorción agregado fino reciclado.**



Fuente: Wilson Cárdenas Gabriel Hernández 2014.

Sin embargo se muestra una absorción más alta en los agregados finos reciclados que en los agregados gruesos, los valores oscilan entre el 6% y el 9%, son porcentajes bastante altos, para lo que se sugiere usarlo mezclado con agregados finos y previamente saturado.

Ciclomat es una empresa colombiana dedicada a la minería urbana dentro de las especificaciones técnicas, de los materiales que dispone para la venta, se encuentra la arena producto de concreto reciclado, para cual estipula una absorción del 9%, resultado que se encuentra dentro del mismo rango de los resultados obtenidos por los autores relacionados en la figura 7.

### 9.2.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA

El resultado de estos estudios llevados a cabo por WES y otros grupos interesados en el tema como lo son el Departamento de Transporte de Iowa, Instituto Tecnológico de Massachusetts, Departamento de Transporte de Minnesota, entre otros, encontraron que las partículas de agregado obtenidas del concreto triturado tenían baja gravedad específica en comparación con agregados minerales de procedencia natural.

**Tabla 17. Gravedad específica según departamento de transporte de michigan 1981**

AUTOR	MATERIAL	TIPO	GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO	GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO
FERGUS	MATERIAL RECICLADO	UN RECICLADO	2.31-2.40	2.15-2.63
	MATERIAL RECICLADO	DOS RECICLADO	2.11	ND
	GRAVA COMÚN	NATURAL	2.67	2.60

Fuente: Cruz & Velázquez, 2004

**Tabla 18. Gravedad específica de agregados para concretos según Alan Buck 1973**

AUTOR	MATERIAL	TIPO	GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO	GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO
ALAN BUCK	CONCRETO CON CHERT	RECICLADO	2.43-2.44	2.36
	CONCRETO CON CALIZA	RECICLADO	2.52	ND
	GRAVA CHERT	NATURAL	2.52	2.63
	CALIZA PICADA	NATURAL	2.67	2.63

Fuente Cruz & Velázquez, 2004

### 9.2.3 DENSIDAD DE AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO

La densidad de los agregados de concreto reciclado, es menor que la densidad de los agregados naturales, La (Universidad de Santiago de Chile, 2005), Determino que por ejemplo la densidad suelta del agregado grueso reciclado es de 1.313 kg/m<sup>3</sup> frente a los 1510 kg/m<sup>3</sup> de la grava natural, Este resultado concuerda con los resultados presentados por el instituto de ingeniería UNAM.

Se puede inferir que la densidad disminuye ya que la densidad de la pasta adherida a los agregados pétreos que forman el agregado reciclado, es menor que la densidad del agregado pétreo.

También ocurre lo mismo con la densidad aparente compactada, densidad real seca. El contenido de huecos es por tanto mayor en el agregado reciclado que en el agregado natural, lo que finalmente contribuirá a una mayor absorción en el agregado reciclado.

#### 9.2.4 DESGASTE

Se presenta una mayor pérdida de masa en los áridos reciclados, que en los áridos naturales, comportamiento que puede ser atribuible a micro fisuras generadas durante proceso de trituración, y a la calidad de la pasta adherida a la partícula pétreo (Universidad de Santiago de Chile, 2005).

#### 9.2.5 ASENTAMIENTOS DE CONCRETOS FABRICADOS CON AGREGADOS RECICLADOS.

El concreto hecho con agregados finos y gruesos de concreto reciclado presenta menores asentamientos en comparación con mezclas hechas de agregado y arena natural.

De esta manera lo demuestran las pruebas realizadas en el instituto de ingeniería UNAM en 2005 y cuyos resultados se presentan en el capítulo dedicado a esta investigación.

**Tabla 19. Asentamientos en concreto con ACR**

MEZCLA	% de agregado reciclado	Cantidad de Cemento Kg/M3	Asentamiento en mm
C335N	0%	335	120
C335L50	50%	335	105
C335L100	100%	335	100

Fuente:Universidad de Santiago de Chile, 2005

Los resultados publicados por (Universidad de Santiago de Chile, 2005) también muestran una disminución del asentamiento frente al aumento de agregado de concreto reciclado presente en la muestra. Este efecto puede ser mayor si se aumenta la cantidad de cemento presente en la mezcla o se usa cemento de alta resistencia.

Esta característica limitara el uso de agregados de concreto reciclado, en concretos destinados a proyectos en los cuales esta característica no genere

problemas. Lo que lo hace poco recomendable su uso para casos donde se exija alta fluidez del concreto y en concretos especiales como los auto-compact antes.

Aun así (Cruz & Velázquez, 2004). Afirman que los asentamientos en concretos con agregados de concreto reciclado son semejantes a los de concretos elaborados con agregados naturales.

### 9.2.6 PROPIEDADES MECÁNICAS EN CONCRETOS CON AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO.

Las mezclas con agregados naturales tienden a desarrollar propiedades mecánicas mayores que las desarrolladas por mezclas que incorporen agregados reciclados, la diferencia oscila entre un 5% y 15%.

El profesor Luis Gómez dela universidad de Cataluña realizo pruebas remplazando 0%, 15%, 30%, 60%, 100 % del agregado grueso natural por agregado reciclado. (Gómez, Argullo, & Vásquez, 2005)

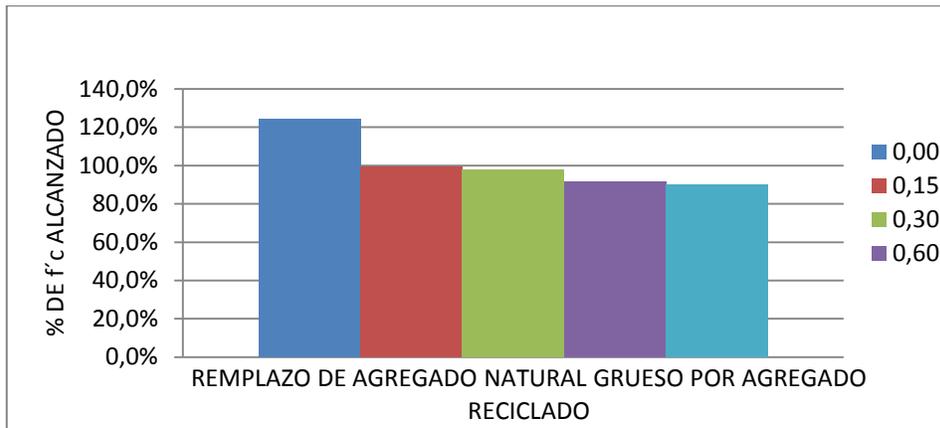
Existe una relación inversamente proporcional entre la resistencia del concreto y el porcentaje de concreto reciclado utilizado en la mezcla. A mayor cantidad de ACR menor resistencia del concreto.

**Tabla 20. Resistencia a la compresión**

REPLAZO DE AGREGADO NATURAL GRUESO POR AGREGADO RECICLADO	% DE $f'_c$ ALCANZADO
0,00	124,1%
0,15	99,6%
0,30	97,8%
0,60	91,6%
1,00	90,0%

Fuente: Gómez, 2005

**Figura. 13. Variación resistencia a la compresión vs remplazo de ACR**



Fuente: Gómez, 2005

Los resultados de tención indirecta presentados por el profesor Gómez también muestra una disminución es magnitud proporcional al aumento del porcentaje de concreto reciclado usado en la mezcla

Buck determino que el concreto a partir del material agregado reciclado tiene resistencia a la compresión de 300 a 1300 Psi menos que el de concreto de referencia durante el periodo de prueba (edades mayores a 180 días) (Buck tomado de Construdata, 2005).

La investigación del instituto de ingeniería UNAM, encontró una disminución de la resistencia a compresión, en concretos que utilizaron agregado de concreto reciclado en comparación con mezclas que utilizaron agregados naturales, dicha disminución no supero un 10% .

La tesis de Jorge A. Cruz y Ramón Velásquez, que realizo pruebas de resistencia a la compresión en concretos elaborados con mezclas en las cuáles se usó ACR revelan que no se alcanzaron las resistencias de diseño para los 28 días se llegó a un 80% de  $f'c$  ya que no se usaron muestras de control los resultados obtenidos se muestran en la tabla.

**Tabla 21. Pruebas de resistencia a la compresión.**

TIPO DE CEMENTO	f'c kg/cm2	DÍAS	RESISTENCIA kg/cm2	%
cimento tipo 1	250	7	91,96	37%
cimento tipo 1	250	14	178,83	72%
cimento tipo 1	250	28	200	80%

Fuente: (Cruz & Velázquez, 2004)

William Garzón de la universidad Nacional de Colombia realizo un estudio de la durabilidad al ataque de sulfatos del concreto con agregado reciclado, realizo 27 mezclas diferentes en las que remplazo agregado natural por agregado reciclado y también uso ceniza volante.

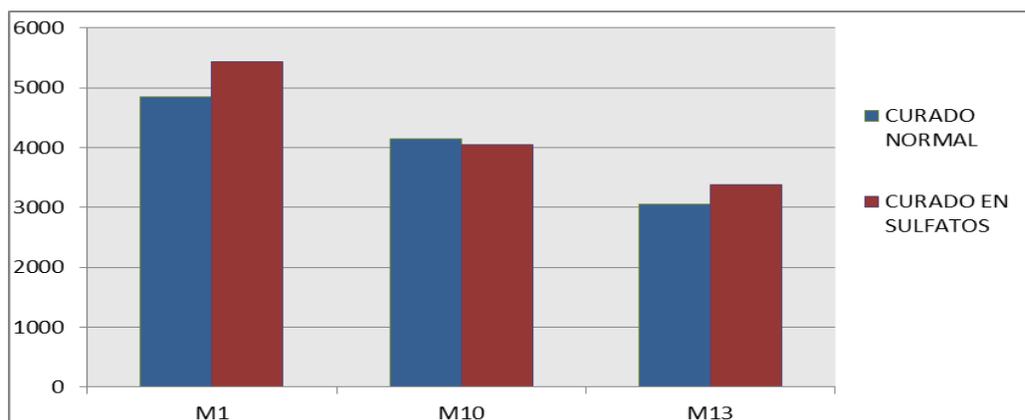
A continuación se muestra los resultados que obtuvo en tres muestras con remplazo de agregado natural por agregado reciclado en porcentajes de 0%, 50% y 100% respectivamente; Ninguna de estas incorporo ceniza volante.

**Tabla 22. Resistencia a la compresión**

MEZCLA	% de agregado reciclado	RELACIÓN a/c	CENIZA	CURADO NORMAL	CURADO EN SULFATOS
M1	0%	0,48	0%	4854,07	5438,19
M10	50%	0,48	0%	4148,03	4049,54
M13	100%	0,48	0%	3058,5	3378,27

Fuente: Garzón 2013

**Figura. 14. Resistencia a la compresión Garzón.**



Fuente: (Garzón, 2013)

La resistencia a la compresión disminuye al aumento del porcentaje de concreto reciclado en la muestra aunque para este caso el curado en sulfatos tiene mayor resistencia que el curado normalmente.

La (Universidad de Santiago de Chile, 2005) también encontró resultados semejantes, en este caso la muestra (C335N) con 100% de agregado natural supero la resistencia de las muestras con agregado reciclado, sin embargo la muestra (C335L50), con 50% de agregado reciclado, supero la resistencia obtenida por la muestra (C335L100) con 100% de agregado reciclado lo que indica que no existe una relación proporcional entre el porcentaje de agregado reciclado incorporado y la resistencia a la compresión obtenido.

Es posible atribuir la perdida de resistencia en concretos con agregados de concreto reciclado a la menor resistencia que posee la pasta que forma el agregado, respecto a la resistencia de los agregados pétreos, así como a la interface pasta nueva- pasta antigua. Constituye entonces una característica que estará afectada por la calidad del concreto con el cual se elaboran los agregados reciclados.

**Tabla 23. Resistencia a la compresión**

MEZCLA	% de agregado reciclado	CANTIDAD DE CEMENTO Kg/M3	28 DÍAS (Mpa)
C335N	0%	335	16,7
C335L50	50%	335	13,8
C335L100	100%	335	14,8

Fuente: Univercidad de Santiago de Chile, 2005

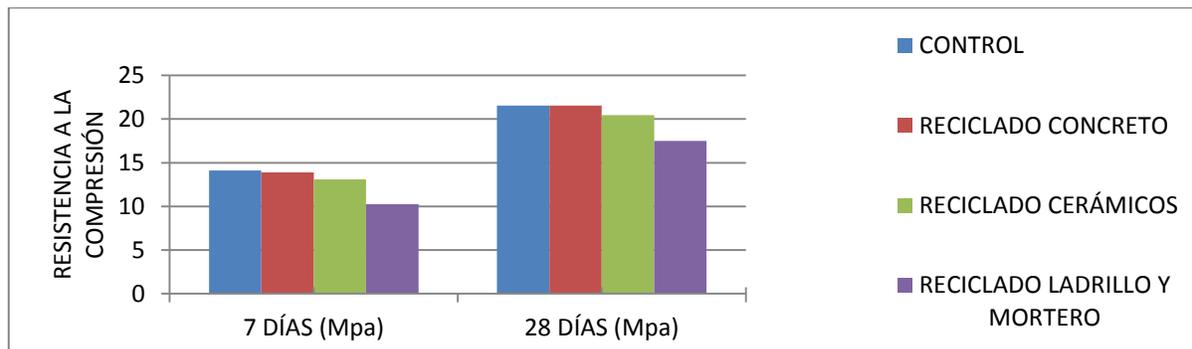
Sin embargo algunos investigadores han encontrado una resistencia a la compresión muy similar entre muestras que contiene agregado de concreto reciclado y muestras elaboradas con agregado natural.

**Tabla 24. Resistencia a la compresión**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
MUESTRA	7 DÍAS (Mpa)	28 DÍAS (Mpa)
CONTROL	14,12	21,56
RECICLADO CONCRETO	13,90	21,53
RECICLADO CERÁMICOS	13,10	20,47
RECICLADO LADRILLO Y MORTERO	10,24	17,5%

Fuente: Bedoya 2003

**Figura. 15. Resistencia a la compresión Bedoya.**



(Bedoya, 2003), presento resultados en los cuales las diferencias no alcanzan al 1%, esta no es una diferencia significativa, para este caso no existe variabilidad de la resistencia con el cambio de agregado natural por agregado grueso. Convirtiendo este en un punto controversial. Para los proyectos en los que se pretenda usar agregado de concreto reciclado, se debe tratar como un agregado con características especiales y a partir de estas generar los diseños de mezclas ya sea que se use solo o mezclado con agregados naturales.

### 9.2.7 MODULO ELÁSTICO

Esta propiedad del concreto también disminuye al aumento del porcentaje de agregado de concreto reciclado usado en las mezclas, varios autores constatan esta tendencia, por ejemplo los resultados presentados por el profesor Gómez muestran una disminución de hasta 19% en la muestra que únicamente incluía agregado reciclado respecto de la muestra que utiliza 100% agregados naturales esto para la edad de 90 días (Cruz & Velázquez, 2004; Gómez, Argullo, & Vasquez, 2005; U.T.N, 2011).

También la (Universidad de Santiago de Chile, 2005), encontró enormes descensos en el módulo de elasticidad del concreto, entre 42% y 44% en concreto de baja resistencia elaborado con cemento corriente y con un 100% de agregado reciclado, el descenso fue mayor para un uso de 50% de agregado reciclado caso en el que el módulo de elasticidad disminuyo entre 50% y 66%., descensos similares fueron obtenidos utilizando cemento de alta resistencia; y para concretos de una resistencia alta esperada con un mayor contenido de cemento.

Es atribuible la disminución del módulo de elasticidad a la calidad de la pasta que se adhiere a la partícula pétreo formando agregado reciclado, a su baja deformación.

Sin embargo las investigaciones realizadas por el instituto de Ingeniería UNAM concluyen que la variación de este parámetro es mínima y presenta resultados similares entre muestras elaboradas con agregados reciclados y mezclas elaboradas con agregados naturales.

Este cambio es explicable ya que los resultados fueron obtenidos en diferentes investigaciones apartadas las cuales no usaron ACR de la misma fuente si no que fueron fuentes distintas.

### **9.2.8 RESISTENCIA A SULFATOS**

Resulta de vital importancia determinar las reacciones de concretos elaborados con agregados de concreto triturado frente a la acción de los sulfatos, Ya que el ataque de estos uno de los más peligrosos para el concreto.

Pero es el sulfato de calcio el más agresivo, se da por reacción con el aluminato de calcio generando la formación de yeso que por su características expansivas termina por deterioro del material; Por tanto se recomienda que los concretos cuya colocación este expuesta al ataque de sulfatos deben tener baja porosidad y permeabilidad, así como la capacidad de reducir la reacción de los sulfatos con el aluminato tri- cálcico.

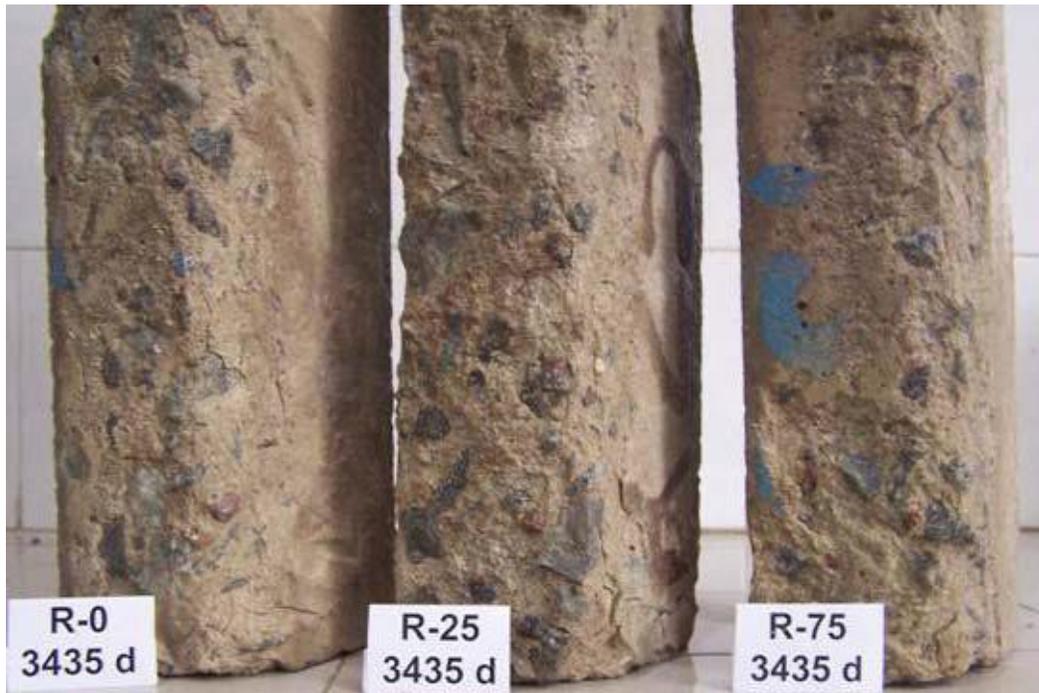
Aunque estas características mencionadas aplican para todos los concretos independientemente del agregado utilizado, es el agregado reciclado un componente de concreto normalmente más permeable que el fabricado con agregados naturales, lo que implica una mayor susceptibilidad a la acción a los daños causados por sulfatos.

Son también factores determinantes de la resistencia del concreto a la acción de los sulfatos la cantidad de cemento utilizado, la relación agua cemento, adiciones y aditivos. A mayor cantidad de cemento mayor resistencia al ataque, la resistencia a sulfatos del concreto se incrementa a disminuir su relación agua cemento.

Estas características del concreto se mantienen estables en mezclas elaboradas con agregados de concreto reciclado, es por tanto la relación agua cemento un factor primordial en la prevención del ataque de sulfatos en los concretos, más allá de las propiedades de los agregados utilizados.

La relación agua cemento es un factor que además de lo mencionado incide en la resistencia y expansión tanto en concretos elaborados con agregados reciclados como en concretos elaborados con agregados naturales.

**Figura. 16. Muestras con ACR expuestas a suelo sulfatos**

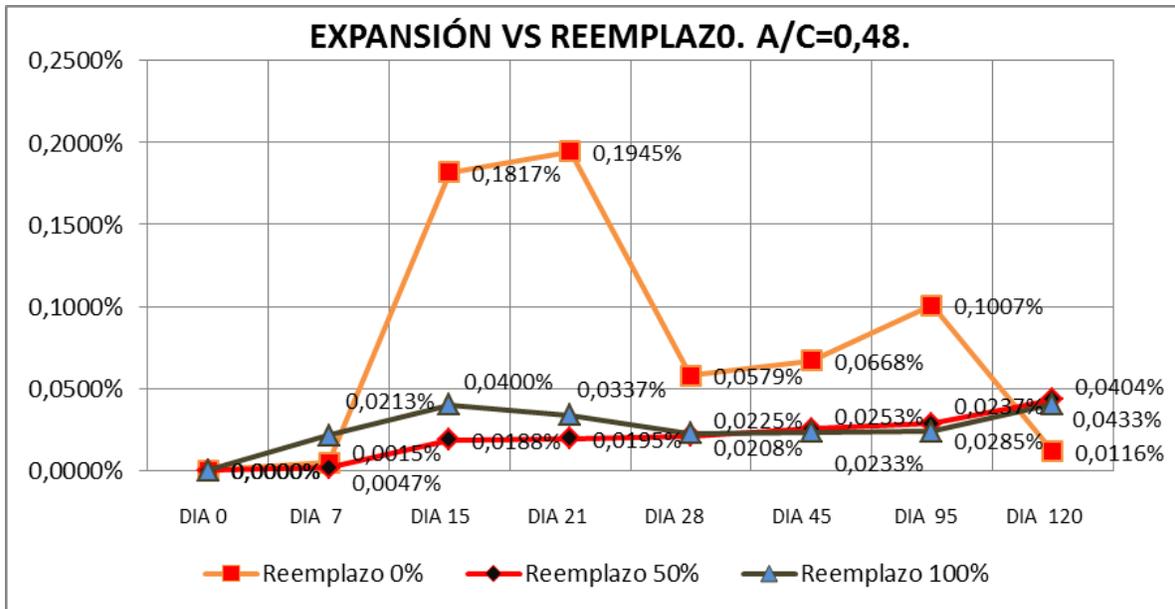


### 9.2.9 EXPANSIÓN EN CONCRETOS CON AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO

Se observa en la gráfica una expansión en el concreto normal para la muestra M1 concreto sin ACR, y M13 concreto que únicamente usa ACR, mientras que el comportamiento para la mezcla M10 con 50% ACR y 50% agregado pétreo presenta un comportamiento inusual obteniéndose los valores más altos (0,05%) a la edad de 21 días, aun así a la edad de 120 días la expansión acumulada es menor que el de las muestras M1 y M13.

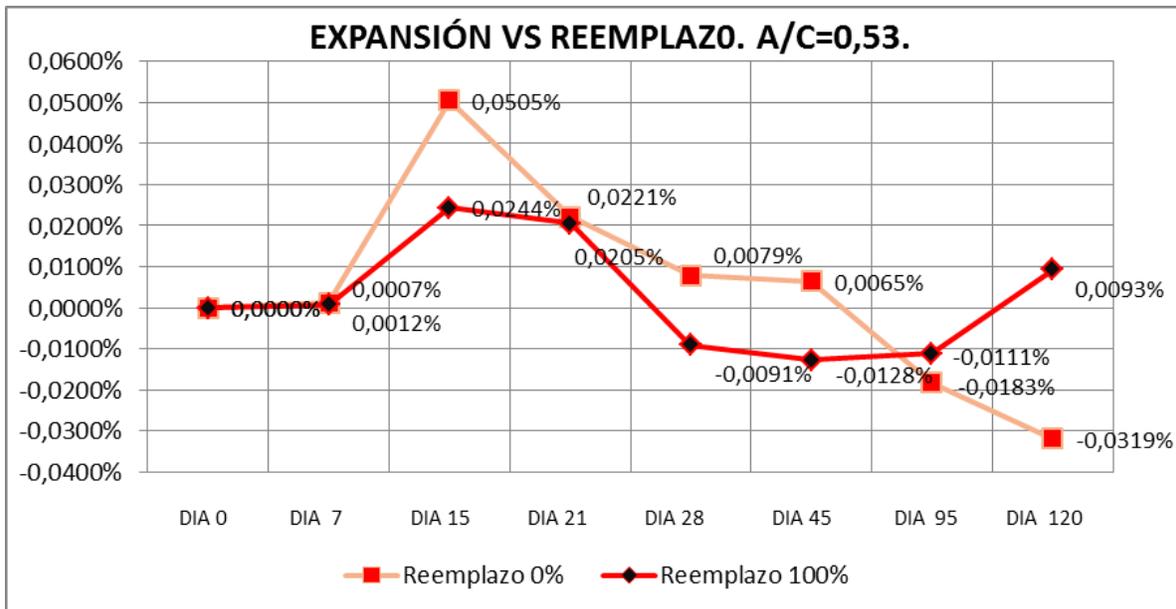
El autor no logra establecer la causa de una expansión tan diferente en la mezcla M10 además aclara que se realizó un nuevo ensayo de verificación obteniéndose resultados similares, supone este un punto en entredicho de la viabilidad de mezclar ACR y agregados naturales.

**Figura. 17. Expansión en concretos vs contenido de ACR. A/C 048**



Fuente: Garzón, 2013

**Figura. 18. Expansión en concretos vs contenido de ACR. A/C 053**

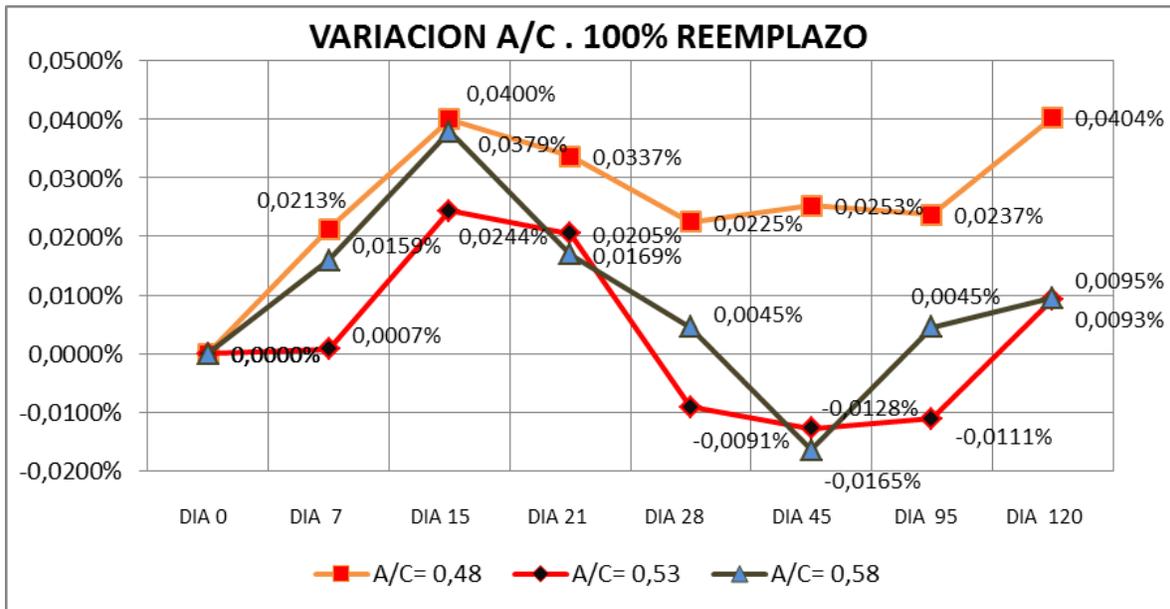


Fuente: Garzón, 2013

Las muestras M4 con 100% de agregado natural y M19 con 100% de agregado reciclado evidencian que la expansión que se obtiene en un concreto con ACR no

siempre es mayor que la que se obtiene en un concreto que usa agregados naturales, es más para este caso se debe notar que la mezcla M4 que usa agregados naturales obtiene expansiones considerablemente mayores a las obtenidas con la muestra M19, e incluso un mayor rango de contracción.

**Figura. 19. Expansión en concretos vs relación agua cemento**



Fuente: Garzón, 2013

Se presenta una comparación entre las muestras M13, M19, M25 las cuales fueron elaboradas usando ACR como único agregado para este caso la variable es la relación agua cemento 0.48, 0.53 y 0,58 respectivamente se observa que a mayor con relaciones agua cemento más bajas la expansión aumenta.

### 9.3 INVESTIGACIÓN DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

Esta investigación realizada en el año 2005 titulada Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados, evaluó una serie de mezclas elaboradas con concreto reciclado, y también evaluó características de los agregados reciclados comparados con agregados naturales; para lo cual se tuvo en cuenta la normatividad establecida por la ASTM. Se describe esta investigación con profundidad ya que sus resultados coinciden con los indagados en la mayor parte de la bibliografía consultada.

*“Las propiedades físicas estudiadas para los agregados gruesos fueron la granulometría, coeficiente de forma, humedad, absorción, densidad relativa y peso volumétrico compactado. Los resultados se presentan en conjunto para los agregados naturales y reciclados con fines de comparación.”*

*“Las propiedades físicas estudiadas para el agregado fino fueron la granulometría, módulo de finura, humedad, absorción, densidad relativa y peso volumétrico compactado.”* (Martínez, Soto, & Mendoza, 2005) Instituto de ingeniería UNAM

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

### 9.3.1 Humedad:

**Tabla 25. Humedad de los agregados (UNAM)**

<b>HUMEDAD DE LOS AGREGADOS</b>	
<b>AGREGADO</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>
NATURAL	0.04
RECICLADO	3.33
ARENA	6.93

Fuente: Martínez, Soto, & Mendoza, 2005

De donde podemos ver, que para el caso en estudio es mucho mayor la humedad en los agregados reciclados, que para los agregados natural esto se debe quizás también a su alta capacidad de absorción.

### 9.3.2 Absorción:

**Tabla 26. Absorción de los agregados (UNAM)**

<b>ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS</b>	
<b>AGREGADO</b>	<b>ABSORCIÓN (%)</b>
<b>NATURAL</b>	<b>0.42</b>
<b>RECICLADO</b>	<b>2.62</b>
<b>ARENA</b>	<b>6.03</b>

Fuente: Martínez, Soto, & Mendoza, 2005

Como se venía diciendo también la absorción de los agregados reciclados es mucho mayor que la de los agregados naturales.

### 9.3.3 Densidad relativa:

**Tabla 27. Gravedad específica (UNAM)**

<b>Gravedad específica</b>	
<b>AGREGADO</b>	<b>DENSIDAD</b>
NATURAL	2.71
RECICLADO	2.36
ARENA	2.31

Fuente: : Martínez, Soto, & Mendoza, 2005

Los valores obtenidos por los ingenieros. I.E. Martínez–Soto y C.J. Mendoza–Escobedo, muestran que aunque el agregado reciclado tiene una densidad relativa un poco más baja que la del agregado natural, se encuentran dentro de un mismo rango.

### 9.3.4 Peso unitario:

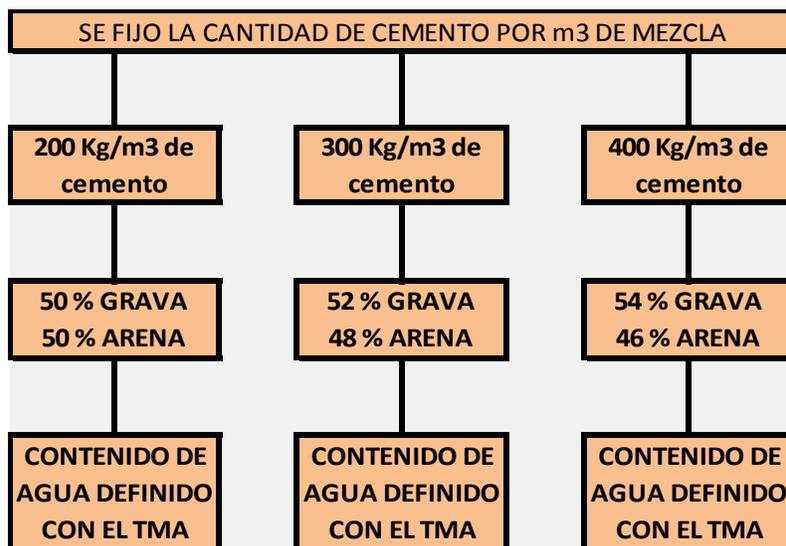
**Tabla 28. Peso unitario compactado (UNAM)**

<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>	
<b>AGREGADO</b>	<b>PESO UNITARIO (Kg/m3)</b>
NATURAL	2.71
RECICLADO	2.36
ARENA	2.31

Fuente: Martínez, Soto, & Mendoza, 2005

Se puede ver que el agregado reciclado es aproximadamente un 16% más liviano que el agregado natural, dichos valores son aplicables a las muestras utilizadas por los ingenieros en su trabajo, sin que este valor constituya una constante.

**Figura. 20. Procedimiento de muestras.**



Fuente: Martínez, Soto, & Mendoza, 2005

*“Los ensayos de laboratorio practicados a los concretos elaborados, fueron en estado fresco: el asentamiento el peso volumétrico fresco y el contenido de aire, y en estado endurecido: las resistencias a compresión, a tensión y a flexión, así como el módulo de elasticidad, según los procedimientos establecidos en las normas ASTM correspondientes.”*

### 9.3.5 Evaluación de la manejabilidad:

CN = agregado natural y CR =agregado reciclado, los números corresponden a la cantidad de cemento por metro cubico de cada mezcla.

**Tabla 29. Asentamientos obtenidos (UNAM)**

ASENTAMIENTOS OBTENIDOS	
MEZCLA	ASENTAMIENTO EN Cm
CN200	8,87
CR200	8,1
CN300	10
CR300	6,93
CN400	9,17
CR400	8,65

Fuente: Martínez, Soto, & Mendoza, 2005

Como se ha venido afirmando a lo largo de este trabajo, la manejabilidad de las mezclas con agregado reciclado es menor que la de las mezclas que contienen agregados naturales, como también lo concluyeron los ingenieros. I.E. Martínez–Soto y C.J. Mendoza–Escobedo, a partir de los resultados plasmados en la tabla 7 de su trabajo.

### 9.3.6 Peso unitario en estado fresco:

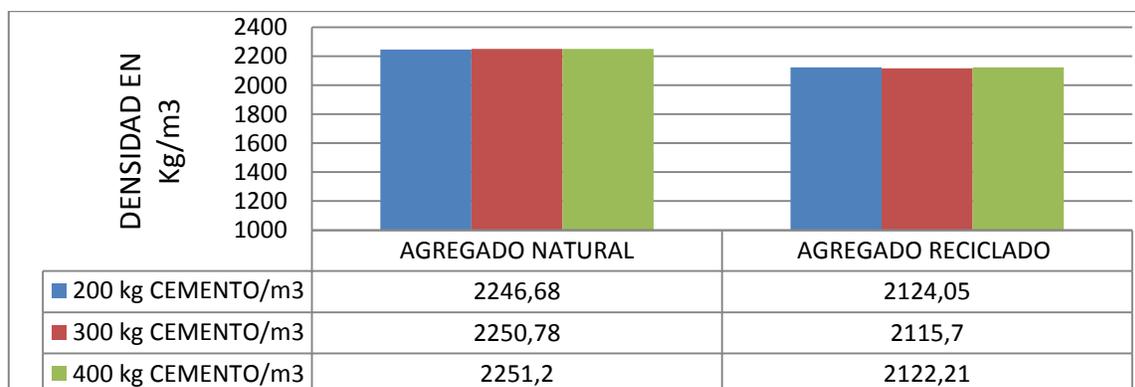
Como era de esperarse los pesos volumétricos o densidad de las mezclas son directamente proporcionales a las de los agregados, por lo que las mezclas de agregado natural son más pesadas que las de agregado reciclado como muestra a continuación.

**Tabla 30. Densidad concreto fresco (UNAM)**

Densidad en estado fresco	
MEZCLA	Kg/m3
CN200	2246,68
CR200	2124,05
CN300	2250,78
CR300	2115,7
CN400	2251,2
CR400	2122,21

Fuente: Martínez, Soto, & Mendoza, 2005

**Figura. 21. Densidad del concreto en estado fresco.**



### 9.3.7 Contenido de aire:

El contenido de aire, de las mezclas para todos los casos a excepción de la CR300 se encuentra dentro de rangos normales, sin embargo hoy día es un tema

controlable con aditivos, por lo que no sugiere mayores dificultades la elaboración de mezclas con ACR.

### 9.3.8 Resistencia a la compresión:

La relación agua cemento de las mezclas elaboradas fue mayor en las que incorporaron agregados reciclados debido a la mayor absorción de estos materiales.

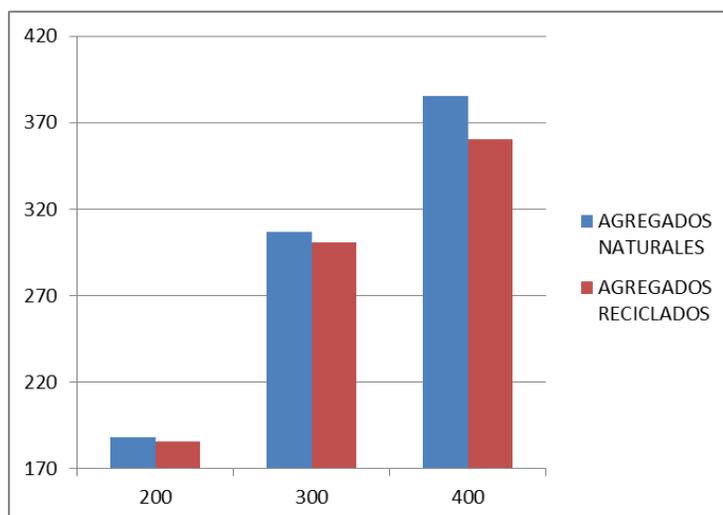
Los resultados se presentan a continuación:

**Tabla 31. Resistencia a la compresión (UNAM)**

MEZCLA	RELACIÓN A/C	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/Cm <sup>2</sup> )		
		7 d	14 d	28 d
CN200	1,01	116,7	145,08	188,2
CR200	1,3	103,52	140,48	185,53
CN300	0,72	218,2	252,25	306,86
CR300	0,85	209,97	266,99	300,73
CN400	0,56	286,85	330,78	385,61
CR400	0,68	256,43	281,63	360,36

Fuente: Martínez, Soto, & Mendoza, 2005

**Figura. 22. Mezclas con los mismos contenidos de cemento.**



Fuente: Wilson Cárdenas Gabriel Hernández 2014.

Se puede ver en la gráfica que mezclas con los mismos contenidos de cemento presentan mayores resistencias en las elaboradas con agregados naturales, sin embargo las mezclas de agregado reciclado llegan a porcentajes mayores del 90 % esto incluso utilizando mayores relaciones agua material cementante.

### 9.3.9 Resistencia a la tensión:

**Tabla 32. Resistencia a la tensión**

MEZCLA	RESISTENCIA A LA TENSIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	% DE RESISTENCIA CR RESPECTO CN
CN200	17,23	96%
CR200	16,55	
CN300	26,3	92%
CR300	24,23	
CN400	28,04	84%
CR400	23,63	

Fuente: Martínez, Soto, & Mendoza, 2005

La resistencia a la atención es menor en los concretos realizados con agregados reciclados, este porcentaje de diferencia aumenta a cantidades mayores de cemento por m<sup>3</sup> de concreto, lo que demandaría mayores inconvenientes si se utilizara en concretos de alta resistencia.

### 9.3.10 Resistencia a la flexión:

**Tabla 33. Resistencia a la flexión.**

MEZCLA	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	% DE RESISTENCIA CR RESPECTO CR
CN200	26,11	112%
CR200	29,26	
CN300	42,22	94%
CR300	39,89	
CN400	52,11	80%
CR400	41,58	

Fuente: Martínez, Soto, & Mendoza, 2005

El comportamiento en este caso similar al de la resistencia a la tensión, llega a ser superior en la mezcla con agregado reciclado en concretos con 200 kg de cemento por m<sup>3</sup> de concreto, Sin embargo esto no ocurre con las mezclas de 300 y 400 Kg de cemento por m<sup>3</sup> lo que de nuevo genera incertidumbre sobre la eficiencia de los agregados reciclados para ser utilizados en concretos de alta resistencia.

#### **9.3.11 Modulo Elástico:**

El modulo elástico valores dentro de un mismo rango para las mezclas realizadas con los dos tipos de agregados.

El autor concluye con que ante los escasos de materiales pétreos la utilización de agregados reciclados es una alternativa viable ya que con estos se pueden construir mezclas de buena calidad y con comportamiento mecánico similar a las elaboradas con agregados naturales.

## 10. CONCLUSIONES

- Los diferentes estudios realizados en cuanto a la utilización de ACR en la elaboración de mezclas de concreto, revelan que las propiedades mecánicas disminuyen a mayores cantidades de ACR dentro de las mismas, sin embargo, difieren en su grado de influencia y como vimos las diferencias son más marcadas en los ensayos realizados por (Gómez 2005) que en los realizados por Alan Buck y los del instituto de ingeniería UNAM.
- Los agregados de concreto reciclado no poseen características homogéneas, es decir pueden cambiar de acuerdo con la fuente Por tanto se considera necesario realizar ensayos, a cada una de las muestras tanto de agregados como de concreto para los casos en los que se pretenda utilizar ACR.
- La alternativa de uso de ACR se debe viabilizar para cada proyecto en específico, conociendo, los requerimientos técnicos del mismo, las características del material reciclado disponible. ya que estas, como por ejemplo la absorción, difieren del común de los agregados pétreos; también difieren las características del concreto fabricado con estos, especialmente el módulo de elasticidad, y la resistencia a la compresión simple.
- Las significativas diferencias del ACR y el agregado de origen naturales ya mencionadas no impiden que con este se puedan realizar mezclas con características idóneas en proyectos de ingeniería como se demostró en el **Parque de los humedales de Hong Kong**.
- Respondiendo a las necesidades del mundo contemporáneo, la industria de la construcción se prepara día a día, para afrontar el reto del desarrollo sostenible, ya no visto como una utopía, si no como una realidad posible, a través de herramientas como la certificación LEED. Desde la cual el reciclaje de concreto y su posterior uso como agregado está bien visto y genera puntos en el esquema de certificación.

- Los esfuerzos que se realizan por disminuir el impacto ambiental cada día pasan de políticas sugeridas, incentivadas a través de beneficios o certificaciones, al campo de lo normativo por lo que el uso de concreto reciclado años más tarde puede llegar a ser una práctica de carácter obligatorio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Asocreto. (Octubre de 2011). Agregados reciclados presentes en la rehabilitación de estructuras. (62-65, Ed.) *Noticreto*, 108.
- Asocreto. (Diciembre de 2011). Reciclado de agregados en infraestructura aeroportuaria. *Noticreto*, 109, 66-68.
- Asocreto. (Febrero de 2012). "El concreto será sostenible en lo ambiental y en lo económico". *Noticreto*, 110, 54-57.
- Asocreto. (Febrero de 2012). Avances en sostenibilidad del concreto. *Noticreto*, 110.
- Asogravas. (2010). Agregados Reciclados Mitos y realidades. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Asogravas. (2010). Perspectiva de la gestión pública en el manejo integral de escombros en el D.C. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Bedoya, C. M. (2003). El concreto reciclado con escombros. En C. M. Bedoya, *construcción sostenible* (págs. 27-35). Medellín.
- Bedoya, C. M. (2003). El Concreto Reciclado Con Escombros. En C. M. Bedoya, *Construcción sostenible* (págs. 27-35). Medellín.
- Bedoya, C. M. (2011).  
<http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/11911/1/27-36%20Bedoya.pdf>. Recuperado el 22 de 08 de 2012, de  
<http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/11911/1/27-36%20Bedoya.pdf>:  
<http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/11911/1/27-36%20Bedoya.pdf>
- Bedoya, C. M. (Junio de 2012). La Construcción Sostenible como un asunto empresarial. Colombia.
- Bedoya, C. M. (s.f.). *Sostenibilidad tecnología y humanismo*. Recuperado el 31 de 08 de 2012, de Sostenibilidad tecnología y humanismo:  
<http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/11911/1/27-36%20Bedoya.pdf>

- Bejarano, A. (2014). Un paso hacia el desempeño integral de edificios de alto rendimiento con transparencia ambiental LEED V4. *Noticreto*, 6-11.
- Biodegradable.com.mx, R. (s.f.). *Reciclaje Biodegradable*. Recuperado el 25 de 09 de 2012, de Reciclaje Biodegradable:  
[http://www.biodegradable.com.mx/que\\_es\\_reciclar.html](http://www.biodegradable.com.mx/que_es_reciclar.html)
- Buck tomado de Construdata. (30 de Agosto de 2005). *Construdata*. Recuperado el 12 de Agosto de 2012, de Construdata:  
[http://www.construdata.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/recycled\\_concrete\\_as\\_aggregate.pdf](http://www.construdata.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/recycled_concrete_as_aggregate.pdf)
- Cemex. (2012). Aprovechamiento y disposición de RCD. Bogotá, Cundinamarca, Colombia. Recuperado el 2014
- Consejo Colombiano de construcción Sostenible . (2014). Bogotá: CCCS.
- Cruz, J. a., & Velázquez, R. (2004). *Concreto Reciclado*. México D.F: Escuela Superior de ingeniería y Arquitectura.
- D, A. (s.f.). *noticias .espe*. Recuperado el 13 de 11 de 2013, de noticias .espe:  
<http://noticias.espe.edu.ec/hfbonifaz/files/2012/09/ENSAYO-TRIAXIAL.pdf>
- Duica, C. (Diciembre del 2012). *Primer foro internacional para la gestión y control de los residuos de la construcción y demolición*. Bogotá: Ciclomat.
- Eljaik Usola , M., Quiñones Bolaños, E., & Mouthon Bello, J. (2011). *Unicartagena.edu*. Recuperado el 1 de Noviembre de 2012, de [meljaieku@unicartagena.edu.co](mailto:meljaieku@unicartagena.edu.co)
- ETH, Instituto de ingeniería Ambiental. (Octubre de 2006). Oferta y Demanda de Recursos Minerales Secundarios en Medellín, Colombia. Zurich, Suiza.
- Garzón, W. (2013). *Estudio de la durabilidad al ataque de sulfato del concreto con agregado reciclado*. Bogotá: Universidad Nacional De Colombia.
- Gómez, J. M., Argullo, L., & Vásquez, E. (2005). *Cualidades Físicas y Mecánicas de los Agregados*. Agencia Española De Cooperación Internacional.
- González. (2006). Agregados reciclados. *Regeneración de estructuras metálicas*, 82 a 90.

- Hahn, N. J. (s.f.). *Producción de residuos de construcción y reciclaje*. (I. J. Herrera, Ed.) Recuperado el 15 de 09 de 2012, de Ciudades para un Futuro más Sostenible: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n2/aconst2>
- Hincapié Henao, A. M., & Aguja, E. A. (2003). Agregado Reciclado Para Morteros. *EAFIT*, 39(132), 76-89.
- Icontec. (21 de Junio de 2000). NTC 174. *NTC 174 Especificaciones de agregados para concretos*. Bogotá.
- IMCYC, I. m. (1990). Investigaciones Necesarias. En A. Instituto Mexicano del cemento y del concreto, *Agregados para Concreto* (págs. 14, 15). Balderas: Limusa, S.A de C.V.
- IMCYC, Instituto Mexicano del cemento y concreto. (1990). *Agregados Minerales*. Balderas, México: Limusa, S.A de C.V.
- INDECOPI., C. d. (1999). "*Manejo de Residuos de la actividad de la construcción. Generalidades NTP 400.050*". INDECOPI, Perú.
- Instituto mexicano del cemento y el concreto. (1990). *Agregados Minerales*. Balderas: Limusa, S.A de C.V.
- Martínez, I., Soto, C., & Mendoza, E. (MAYO de 2005). *construdata*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2012, de [http://www.construdata.com/BancoConocimiento/E/el\\_concreto\\_reciclado/el\\_concreto\\_reciclado.asp](http://www.construdata.com/BancoConocimiento/E/el_concreto_reciclado/el_concreto_reciclado.asp)
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2012). Propuesta de seguimiento a la aplicación de los criterios ambientales. *Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana*, 117.
- Natalini, B, M., Klees, D. R., & Jirina., T. (2000). *Reciclaje y reutilización de materiales residuales*. Recuperado el 15 de 09 de 2012, de universidad Nacional del Nordeste: [http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2000/7\\_tecnologicas/t\\_pdf/t\\_013.pdf](http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2000/7_tecnologicas/t_pdf/t_013.pdf)
- Nawy. (1988). Materiales que producen el concreto. En E. G. Nawy, *Concreto Reforzado Un Enfoque Básico* (págs. 14-15). México: Prentice Hall Hispanoamericana S.A.

- Ordomez Amoroso, J. (2013). *Incorporación de los principios de sostenibilidad en los sistemas constructivos para edificaciones de uso residencial en la ciudad de Cuenca*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Piacente, P. J. (23 de 07 de 2011). *Tendencias de la Ingeniería*. Recuperado el 16 de 11 de 2012, de Tendencias de la Ingeniería:  
[http://www.tendencias21.net/El-hormigon-reciclado-alternativa-para-reconstruir-edificios-en-Haiti\\_a5604.html](http://www.tendencias21.net/El-hormigon-reciclado-alternativa-para-reconstruir-edificios-en-Haiti_a5604.html)
- Sánchez. (1993). Los Agregados o Áridos. En S. D. Diego, *Tecnología del concreto y del mortero* (págs. 65-108). Bogotá: Bhandar editores Ltda.
- Sánchez, D. G. (1993). Concreto Fresco. En D. G. Sánchez, *Tecnología del concreto y del mortero* (págs. 111-124). Bogotá: Bhandar editores.
- Sánchez, D. G. (1993). El concreto-generalidades. En D. G. Sánchez, *Tecnología Del Concreto y del Mortero* (págs. 15-19-24). Bogotá: Bhandar editores Ltda.
- Saucedo, J. L. (1971). *Fabricación de Concreto y Acabados*. México: Limusa S.A.
- Secretaría de medio ambiente distrital de Bogotá. (2012). *Resolución No. 01115*. Bogotá: Bogotá Humana.
- Unimedios, Agencia de Noticias. (04 de 04 de 2012). *San Andrés pionera en el proceso de reciclaje de escombros*. Recuperado el 29 de 10 de 2012, de San Andrés pionera en el proceso de reciclaje de escombros.
- Universidad de Santiago de Chile. (28 de Marzo de 2005). Utilización de hormigón reciclado como Material de remplazo de Árido Grueso para la fabricación de hormigones. *Revista ingeniería de construcción*.
- Valdés, G. A., & Rapimán, J. G. (2007). *Construcción y Tecnología en Concreto*. Recuperado el 12 de 11 de 2012, de Construcción y Tecnología en Concreto: <http://www.imcyc.com/revistacyt/sep11/artposibilidades.html>
- Vallejo, A. (2014). *www.resicladosindustriales.co*. Recuperado el 15 de 5 de 2014, de [www.resicladosindustriales.co](http://www.resicladosindustriales.co)

## 0. ANEXOS

### 0.0 PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACR

Básicamente el concreto reciclado lo que trata es de reutilizar los escombros que arroja una demolición podemos encontrar tres tipos de escombros.

“Concreto resultante de una demolición.

- Ladrillo y mortero de pega resultante de una demolición residencial.
- Material cerámico proveniente de una industria de la ciudad de Medellín, tales

Como baldosas rotas durante su producción

Estos escombros son procedentes de actividades que producen los residuos: construcción reparación, demolición y rehabilitaciones.

Construcciones que originan los residuos: edificios residenciales, industriales de servicios, carreteras (obras de arte) y obras hidráulicas.

Tiempo de la edificación en servicio: determina los tipos y calidad de los materiales obtenidos en los casos de necesitar reparaciones o demoliciones.

Nuevas construcciones: genera la creación de nuevas edificaciones y rehabilitación de las existentes.

Lo que se hace con estos residuos es llevarse a una planta para que sean triturados hasta que lleguen a un tamaño aproximadamente de 19,05 mm(3/4”) para darle el tamaño tradicional de los agregados luego de tenerse de esta manera son llevados al laboratorio para determinar su capacidad de absorción, humedad, saturación y otras pruebas cuyo resultados son muy importantes para hacer una mezcla de concreto optima y que de un buen rendimiento en la obra por otro lado “los productos reciclados tienen que competir con los materiales de construcción tradicionales, de ahí la necesidad de una calidad uniforme” (González, 2006)

Descrito más minuciosamente el proceso consta de los siguientes pasos:

### **Figura. 23. Procedimiento de obtención de ACR**

Reparaciones o  
demoliciones



Fuente: (Vallejo, 2014)

La demolición es el proceso contrario de la construcción. El cual consiste en desmontar las edificaciones y otras estructuras.

La reparación consiste en retirar parte de una edificación o estructura que requiera un mejoramiento o mantenimiento.

Estas son las fuentes que generan el concreto para ser reciclado.

**Figura. 24. Manipulación y separación.**



Fuente: Gabriel Hernández y Wilson Cárdenas

Estos procesos se hacen en obra en el momento que se realiza la demolición o la reparación. Consisten en separar el concreto de otros materiales que se presentan en el desarrollo de esta actividad.

**Figura. 25. Almacenamiento.**



Fuente: Gabriel Hernández y Wilson Cárdenas

En esta actividad el concreto que previamente se ha seleccionado, es ubica en una zona determinada para este fin. En este lugar solo se almacena el concreto que cumple las características para producir ACR.

**Figura. 26. Recogida y Transporte.**



Fuente: Gabriel Hernández y Wilson Cárdenas

En la zona en que se almacena el concreto reciclado se realiza el cargue con una retro que puede ser de oruga o una pajarita según el volumen de material y la zona de acceso de lugar, de ahí es cargado en volquetas para ser enviado a la planta de tratamiento de producción de ACR.

**Figura. 27. Planta de tratamiento de producción de ACR.**



Fuente: Gabriel Hernández y Wilson Cárdenas

La planta de tratamiento de producción de ACR. Es el lugar donde se lleva el concreto reciclado para su transformación y posterior obtención de ACR.

La planta de tratamiento producción de ACR. Consta de tolva, trituradora de mandíbula, banda transportadora y zaranda.

**Figura. 28. Separación transformación y aprovechamiento.**



Fuente: Gabriel Hernández y Wilson Cárdenas

En esta actividad se realiza una inspección visual al concreto reciclado, para retirar materiales que tenga como hierro y otros materiales que puedan afecten la calidad de ACR.

**Figura. 29. Zona de almacenamiento de escombros de concreto.**



Fuente: Gabriel Hernández y Wilson Cárdenas

En esta zona se almacena el concreto reciclado que cumple todas las condiciones de calidad, por no presentar ningún tipo de contaminación que pueda afectar la producción de ACR.

**Figura. 30. Trituración del concreto.**



Fuente: Gabriel Hernández y Wilson Cárdenas

Se tritura el concreto reciclado con trituradora de mandíbula para obtener un agregado de tamaño adecuado.

**Figura. 31. Cribado.**



Fuente: Gabriel Hernández y Wilson Cárdenas

Se pasa por una zaranda el ACR que presente alto contenido de sobre tamaños o un exceso de finos para obtener una granulometría del agregado óptima.

**Figura. 32. Obtención de ACR.**



Fuente: Gabriel Hernández y Wilson Cárdenas

Al finalizar el ciclo de producción se obtiene un ACR, con unas características adecuadas si todo el proceso se realizó siguiendo los pasos de forma correcta para no alterar el concreto reciclado como materia prima de ACR.

## Especificaciones Técnicas Arena de concreto CICLOMAT S.A.S

### GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO - ALEATORIO

TAMIZ	% RETENIDO	%RET ACUMULADO	L.I	L.S.	% PASA
3/8	1%	1%	95%	100%	99%
4	14%	15%	78%	90%	85%
8	18%	33%	53%	77%	67%
16	16%	50%	35%	60%	50%
30	14%	63%	20%	45%	37%
50	14%	77%	5%	25%	23%
100	13%	90%	0%	15%	10%
FONDO	10%	100%	0%	20%	0%
TOTAL	100%				
MODULO DE FINURA:		3,46%			

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Densidad Aparente s.s.s	2219 k/m <sup>3</sup>
Densidad Nominal	2524 k/m <sup>3</sup>
Densidad aparente	2025 k/m <sup>3</sup>
Materia Orgánica	1

Porcentaje Pasa tamiz 200	6%
Mf: Arena fina (2 mm.)	1.9
% Absorción	9%
Humedad Natural	6,20%