



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

Disertación previa a la obtención del título de Ingeniero Civil

Estudio del uso de materiales reciclados como hormigones, cerámicas y otros productos de derrocamiento o desperdicio de obra como agregados para un hormigón.

Autor: Josué Stivent Bolaños Noboa.

Director: Ing. Oscar Villacres

Quito, Diciembre de 2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ingeniero Oscar Villacres, tutor designado por la Universidad Internacional del Ecuador UIDE para revisar el Proyecto de Investigación Científica con el tema: “ESTUDIO DEL USO DE MATERIALES RECICLADOS COMO HORMIGONES, CERÁMICAS Y OTROS PRODUCTOS DE DERROCAMIENTO O DESPERDICIO DE OBRA COMO AGREGADOS PARA UN HORMIGÓN.” del estudiante Josué Bolaños Noboa, alumno de Ingeniería Civil, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos de fondo y los méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Comité Examinador designado por la Universidad.

Quito, Mayo de 2015

EL TUTOR



Ing. Oscar Villacres

C.I. 1712489523

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Yo, Josue Bolaños Noboa, declaro que el trabajo de investigación denominado: “ESTUDIO DEL USO DE MATERIALES RECICLADOS COMO HORMIGONES, CERÁMICAS Y OTROS PRODUCTOS DE DERROCAMIENTO O DESPERDICIO DE OBRA COMO AGREGADOS PARA UN HORMIGÓN” es original, de mi autoría y exclusiva responsabilidad legal y académica, habiéndose citado las fuentes correspondientes y en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, sin restricción de ningún género o especial.

Quito, Diciembre del 2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Josue Bolaños', with a large, sweeping flourish underneath.

Josué Bolaños N.

C.I. 1721823035

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres y hermanos por haberme dado todo el apoyo que necesito en especial a Franklin mi amigo y hermano por ser mi apoyo y ejemplo a mis hermanas Vety y Paola por ese ejemplo de lucha y perseverancia, a mi esposa Mónica y mi hija Paula por ser los motores de mi vida, por estar siempre conmigo en mis alegrías y tristezas, en mis triunfos y derrotas.

AGRADECIMIENTO

A Dios en primer lugar por ayudarme en cada paso de mi vida, darme la fuerza para seguir adelante y de esta forma cumplir mis sueños y metas, Gracias mi Dios.

A mis padres por apoyarme en cada paso de mi vida por ese gran esfuerzo que realizaron día a día para ayudarme en lo económico, moral y ánimo para nunca desmayar, gracias por ese apoyo y amor incondicional a toda mi familia, mi esposa y mi hija.

Al Ing. Raúl Vallejo un agradecimiento muy especial por ser la persona que me dio la oportunidad de crecer laboralmente por la experiencia y conocimientos transmitidos, gracias por confiar en mí.

A mis profesores de la Universidad Internacional del Ecuador por haberme compartido sus conocimientos, experiencias y de esta forma ser un profesional, gracias de corazón.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	x
RESUMEN	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I	1
1. EL PROBLEMA	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Justificación y significación.....	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.5. Formulación de las Hipótesis	4
1.6. Factibilidad de la investigación	5
CAPITULO II	6
MARCO REFERENCIAL	6
2.1. Marco Teórico	6
2.1.1 Generalidades	6
2.1.2. Marco Conceptual	11
2.1.2.1. Fundamentacion Legal	11
2.1.2.2. Residuos de construcción y su clasificación.....	11
2.1.3. Áridos procedentes del hormigón reciclado	17
2.1.4. Propiedades de los áridos reciclados según su origen	18
2.1.5. Experiencias en el uso de áridos reciclados.....	332
2.1.6. Normativa Técnica Internacional sobre el tema.	35
2.1.7. Propiedades tecnológicas de materiales	38
2.1.8. Influencia del árido reciclado en propiedades del hormigón estructural ..	45
2.1.9. Propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido.....	49
2.1.9.1 Construir de forma sostenible. Significado	61
2.1.9.2. Ejemplos de Edificación sostenible	64
2.1.9.3 Medidas para lograr una Edificación Sostenible.....	67

CAPITULO III	72
3. Recoleccion desechos de Construcción.....	72
3.1 Generalidades.....	72
3.2.1 Manejo de desechos de Construcción	72
3.2.2 Proceso de Recoleccion.....	74
3.2.3. La De-construcción como una alternativa a largo plazo para la disminución de desechos.....	79
3.2.4. Reducción en el uso de Materiales	81
3.2.5 Reducción de los desechos.....	82
3.2.6. Reuso de Materiales	83
3.2.7. Reciclaje.....	84
3.2.8. Aplicación del Concepto de Construcción Sostenible	85
3.2.9 La Gestión en el manejo de Desechos de Construcción.....	86
3.3. Los desperdicios de la construcción producto del derrocamiento en Quito...	87
CAPITULO IV	90
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LABORATORIO	90
4.1 Introducción.....	90
CAPITULO V	104
5.1. CONCLUSIONES GENERALES.....	104
5.2. RECOMENDACIONES	1066
BIBLIOGRAFÍA	1088
ANEXOS	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Potencial contaminante en los RCD	11
Tabla 2: Clasificación de los RCD de acuerdo al tipo de actividad	13
Tabla 3: Volúmenes de materias primas utilizadas en la construcción....	221
Tabla 4: Elección de las máquinas de trituración.....	26
Tabla 5: Cantidades máximas de áridos sustitutos según las propiedades del árido.....	43
Tabla 6: Especificaciones del árido reciclado y el árido natural.....	44
Tabla 7: Coeficientes de corrección para el hormigón reciclado.....	45
Tabla 8: Niveles de concentraciones de sustancias en agua	46
Tabla 9: Laborabilidad, retracción y factor de compactación en concretos con tamaño máximo agregado de 19 a 38 mm (3/4 ó 1 ½ pulg.).....	53
Tabla 10: Dosificación gravimétrica de mezclas de hormigón para hormigón de 21 MPa de resistencia a compresión a los 28 días, elaborado con sustitución parcial de agregado grueso con materiales reciclados.....	91
Tabla 11: Dosificación volumétrica de mezclas de hormigón para hormigón de 21 MPa de resistencia a compresión a los 28 días, elaborado con sustitución parcial de agregado grueso con materiales reciclados.....	92
Tabla 12: Granulometría del árido fino.	93
Tabla 13: Requisitos para la abrasión Los Ángeles según norma ASTM C-39/C39M-12a	94
Tabla 14: valores de asentamiento obtenidos en cada medición	96
Tabla 15: Especificaciones para la utilización de placas de plicloropeno (neopreno)	99
Tabla 16: Resultados de resistencia a compresión hormigon tradicional	100
Tabla 17: Resultados de resistencia a compresión hormigon reciclado ..	100
Tabla 18: Resultado economico hormigon tradicioanl vs. reciclado	102

|

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Foto 1: Trituradora de NFU desmenuzados. Foto 2: Neumáticos desechados.....	16
Ilustración 2: Ejemplo de polímetro.....	59
Ilustración 3: Ejemplo de cargas rotura.....	60
Ilustración 4: Premisas para el desarrollo sostenible.....	61
Ilustración 5: Foto1. Aplicación y rehabilitación de una vieja fábrica de Harino-Panadera, con el edificio adjunto, Irala, Bilbao. Foto 2. Viviendas de VPO patrocinadas por VISESA.....	67
Ilustración 6: Desperdicios de la construcción y el medio ambiente	700
Ilustración 7: Acopio de desechos de construcción	75
Ilustración 8: Camión para transporte de desechos.....	78
Ilustración 9: Carga y traslado de materiales.....	84
Ilustración 10: Empleo de desechos para relleno	85
Ilustración 11: Empleo de productos reciclados para el relleno	86
Ilustración 12: Acopio de desechos	88
Ilustración 13: Prensa para la realización de cilindros	900
Ilustración 14: Cilindros ensayados	92
Ilustración 15: Curva granulométrica del árido fino ensayado	93
Ilustración 16: Realización del ensayo del cono de Abrams.....	96
Ilustración 17: Relleno de moldes.....	97
Ilustración 18: Vibrado del hormigón	97
Ilustración 19: Piezas terminadas	98
Ilustración 20: Prensa para determinar la resistencia a presión	99
Ilustración 21: Mediciones del cilindro	103

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 : Composición en porcentaje de los RCD.....	19
Gráfico 2: Resistencia del Hormigón	47
Gráfico 3: Comparación de resistencia del Hormigón.....	48
Gráfico 4: Características del equipo para medir factor de compactación. 53	
Gráfico 5: Curva carga vs deformación típica del concreto.....	588
Gráfico 6: Resistencia media a compresión a 28 días.....	101

RESUMEN

La presente tesis se basa en el estudio de la factibilidad del uso de los desechos de materiales de construcción como alternativa de utilización de agregados para la fabricación de hormigones de prestaciones de 20 MPa. Para ello se obtuvo el material reciclado de varias fuentes: hormigón reciclado, hormigón reciclado más bloque, desechos de bloques triturado más cerámica, ladrillos triturados más cerámica, analizando el comportamiento mecánico de las mezclas a diferentes edades.

Concluyendo que las mezclas con resultados similares al hormigón tradicional son las mezclas donde se empleó el árido reciclado procedente de hormigones y del ladrillo mezclado con residuos de cerámica. Con el remplazo de tales materiales se incrementan las perspectivas de uso de los áridos reciclados, lo cual tributa a la utilización de materiales de construcción no convencionales. Con ello se sustituye en cierta medida el uso de materias primas no renovables, lo cual disminuye el impacto ecológico.

INTRODUCCIÓN

La creciente actividad de la construcción, condicionada por el aumento progresivo de la demanda habitacional, inmobiliaria y de infraestructura en la ciudad de Quito, unido a la carencia de terrenos libres para construir, ha condicionado la necesidad de demoler total o parcialmente edificaciones e inmuebles existentes que se encuentran en desuso, en mal estado o cuyas características no se adecuan a las nuevas funciones que se pretenden. Como resultado, se generan gran cantidad de desechos inertes con potencialidad para ser reutilizados, entre los cuales el hormigón ocupa la mayor parte de ese volumen. Dichos productos son conducidos a vertederos donde se mezclan con otros materiales, perdiendo así la capacidad de ser recuperados y contribuyendo en gran medida a la contaminación del medio ambiente. Por esta razón es necesaria la reutilización de residuos de hormigón en la fabricación de hormigones reciclados para ahorrar recursos, energía y así disminuir los costos de construcción y el impacto ambiental.

La presente tesis se ha subdividido por capítulos de la siguiente manera:

CAPITULO I: EL PROBLEMA: Se describe el objeto de la propuesta y el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos, la justificación de la investigación, y las hipótesis a defender.

CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL: Se detalla el marco teórico, el marco conceptual y la fundamentación legal.

CAPITULO III: METODOLOGÍA: Se formulan los métodos para la recolección de información, la delimitación de la muestra, la operacionalización, así como las herramientas de investigación que serán utilizadas.

CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS: Se tabula la información recolectada del estudio laboratorio mediante ensayos realizados a las muestras.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Los materiales de construcción han comenzado a reciclarse de forma indispensable hace tan sólo unos años. Esta dimensión en el trabajo se afianza como una acción con tendencias al crecimiento. La progresiva y rígida legislación del control de deposición de residuos de muchos países provoca mayores intereses por el reciclaje de residuos, ya que la deposición de residuos en los vertederos se encarece progresivamente en función de la naturaleza y composición mayoritaria de los mismos. Es previsible que, en un futuro no muy lejano, el empleo de estos residuos como productos sustitutivos de los convencionales se tomarán en cuenta, lo que propiciará la aparición de actividades que sean económicamente interesantes, haciendo posible el desarrollo sostenible.

La explotación continua por la gran demanda de construcción ha provocado que las canteras de áridos naturales se estén agotando.

Como consecuencia de la actividad creciente en el sector constructivo, existe un aumento en la generación de residuos de construcción, provenientes fundamentalmente de obras de demoliciones de inmuebles, así como también por los propios desechos de las obras en ejecución. Los residuos de la construcción son inertes y por lo tanto no son peligrosos, pero es necesario disponer de una gestión adecuada para preservar el medio ambiente, puesto que su volumen no cesa de crecer. Es entonces que, la utilización de materiales reciclados se ha hecho cada vez más habitual en el campo de la construcción, en esferas muy variadas tales como en obras civiles o en la fabricación de hormigón.

Se ha experimentado que la generación de una mayor cantidad de residuos, trae aparejada una inadecuada gestión de los mismos, debido a que se han ido depositando en los vertederos de manera indiscriminada en la mayoría de los casos, creando de esta forma un gran impacto visual y paisajístico, añadiendo

también un impacto ecológico desfavorable al rechazar un gran potencial de materias primas y energía reciclable, reutilizable y valorizable.

Es por ello que, mediante esta investigación, se pretende proponer un hormigón experimental, elaborado utilizando materiales reciclables producto de la demolición de edificaciones, y que cumpla con los requisitos de resistencia establecidos para ser utilizado en Quito.

1.2. Formulación del problema

La construcción en el Ecuador es un sector en constante crecimiento, dado por el aumento de la población, facilidades de créditos y en general el desarrollo urbano que a su vez demanda y ha generado nuevas construcciones. Todo este auge no sólo está ligado al sector de la vivienda si no que abarca el sector inmobiliario, las obras sociales así como la industria y la infraestructura urbana, tales como puentes, ampliación de vías, colectores, entre otras.

La demanda de terrenos libres para la construcción es alta, sin embargo al no existir espacios disponibles ha surgido la alternativa de demolición de estructuras en mal estado para en su lugar construir nuevos inmuebles y de igual manera la realización de adecuaciones o modificaciones.

Por ende, se genera una gran cantidad de escombros por derrocamientos de inmuebles e infraestructura en desuso o en mal estado, lo cual crea residuos fundamentalmente inertes constituido por tierras y áridos mezclados, piedras, restos de hormigón, restos de pavimentos asfálticos, materiales refractarios, ladrillos, cristal, plásticos, yesos, ferrallas y maderas en general.

Los grandes volúmenes de desechos de la construcción son conducidos hacia los botaderos municipales, donde también se deposita basura común de desperdicios, papel, plástico, vidrio, desechos orgánicos, etc.

Por lo general existe una cultura para la clasificación y separación de materia reciclable (papel, vidrio, plástico) de los desechos orgánicos. En cambio, no existe un tratamiento específico para los desechos de construcciones, ello conduce a que se propicie un considerable impacto ambiental. Se trata de una contaminación ambiental a gran escala, que desaprovecha la posibilidad de que los desechos puedan ser reutilizados para el ámbito de la construcción.

Los elementos anteriormente expuestos indican que existe la *necesidad del estudio del uso de materiales reciclables de la construcción para su aplicación en el hormigón*, ayudando a reducir la producción y acumulación de escombros de la construcción y a la obtención de un costo de hormigón más económico, lo cual permitirá una construcción sustentable y amigable con el medio ambiente.

1.3. Justificación y significación

El Municipio de Quito y el resto de municipios de Pichincha en su mayoría tienen un plan de manejo de desechos bien organizado y estructurado, centros de acopio y botaderos autorizados del municipio. En estos, se receptan todos los desechos de la ciudad y reciben un cribado específico en desechos plásticos, papel y de origen orgánico. Sin embargo, los desechos producto de derrocamientos de hormigón no tienen un tratamiento o proceso específico, ya que tardan en degradarse mucho más que el resto de los materiales. Tardan cientos de años para descomponerse y adicionalmente ocupan un gran espacio dentro del área destinada a esos fines que podría ser utilizado para almacenar y tratar el resto de los desechos.

Estos materiales desechados de las construcciones, con una adecuada selección, acopio y procesamiento, pueden ser reutilizados como materiales agregados del hormigón tradicional. La elaboración de hormigones de bajas resistencias y morteros con técnicas de reciclado nos lleva en un futuro no muy lejano a generar construcciones sustentables, factor de impulso para la protección responsable del medio ambiente.

Debido a los impactos de carácter ambiental, cultural, social y económico provocados por la explotación de este tipo de recursos no renovables, su explotación es regulada a través del “Reglamento Especial para la explotación de materiales áridos y Pétreos” mediante decreto ejecutivo, dictado por el presidente.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Realizar un estudio de caracterización de hormigones elaborados con sustitución de materiales tradicionales, por materiales reciclados que permita generar información certera sobre el uso de materiales reciclados como hormigones, cerámicas y otros productos de derrocamientos como agregados para un hormigón.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Exponer los problemas que generan los materiales producto de derrocamiento de estructuras de hormigón, en la ciudad de Quito.
- Realizar el diseño de un hormigón con agregados reciclados como hormigón, cerámicas y otros, cumpliendo la Norma Ecuatoriana de construcción.
- Valorar los resultados económicos de fabricación de hormigón con agregados reciclados vs hormigón tradicional.
- Definir las aplicaciones en las que pueda emplearse el hormigón reciclado.
- Establecer recomendaciones para la elaboración de hormigón reciclado usando la tecnología convencional.

1.5. Formulación de las Hipótesis

La creación de un hormigón a partir de materiales de reciclaje producto de derrocamientos permitirá el reciclaje de grandes volúmenes de desechos sólidos, y por consiguiente una significativa disminución de los costos en el sector de la construcción de viviendas.

1.6. Factibilidad de la investigación

La factibilidad inicial de la investigación, paralela la factibilidad explícita de la propuesta que se derive de ésta, se encuentra basada en los siguientes aspectos:

- La gestión de los residuos de hormigón producto de los derrocamientos de construcciones con el fin de su empleo en la elaboración de hormigones convencionales no ha sido desarrollada ni detallada en su totalidad hasta el momento en el Ecuador.
- Las materias primas empleadas en la elaboración de hormigones convencionales son áridos naturales que constituyen recursos no renovables, por lo que la reutilización los desechos de hormigón producto de los derrocamientos de construcciones permiten el reciclaje de los mismos.
- El reciclaje de las materias primas necesarias para la elaboración de hormigones convencionales reduce considerablemente su costo de producción.
- La reducción del costo de producción empleando dicho método permite el aumento del volumen de producción y por ende la posibilidad de obtener mayor cantidad de hormigón como materia prima fundamental para la construcción de más edificaciones e infraestructuras.
- El desarrollo constructivo es un gran aliciente que refuerza el plan de mejoramiento de las características de desenvolvimiento introducidas por el plan del “Buen Vivir”, desarrollado por el gobierno nacional, en búsqueda de la transformación del sector productivo e industrial.

CAPITULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco Teórico

2.1.1 Generalidades.

Los residuos de construcción se definen como aquellos que se producen en el ambiente urbano sin incluirse en los llamados Residuos Sólidos Urbanos, tales como los residuos domiciliarios, comerciales, entre otros. Los residuos de construcción incluyen áridos mezclados, restos de hormigón, piedras, restos de pavimento asfáltico, ladrillos, cristales, materiales refractarios, maderas, ferrallas, entre otros. En sentido general, se incluye los desechos que sobrevienen del movimiento de tierra en los espacios de construcción (Instituto Brasileño de Administración Municipal, 2006).

Al material artificial formado al mezclar adecuadamente cuatro componentes fundamentales: cemento, arena, grava y agua se le denomina hormigón convencional. La calidad y dosificaciones de los componentes en la mezcla, así como los parámetros de humedad y temperatura, durante los procesos de fabricación y de fraguado determinan sus cualidades. “El objetivo de un diseño de hormigones es el obtener una mezcla que posea un mínimo de determinadas propiedades tanto en estado fresco como endurecido, al menor costo de producción posible”. (Romo, 2008, pág. 58).

Para obtener propiedades específicas del hormigón (buena laborabilidad, mayor resistencia y baja densidad) se pueden agregar otros componentes como aditivos químicos, micro sílice o limallas de hierro. Por otro lado se pueden reemplazar sus componentes básicos por elementos con características especiales como agregados livianos, agregados pesados o cementos de fraguado lento.

Como material estructural, ha alcanzado la preferencia en el uso debido a que su grado de adaptabilidad a gran diversidad de moldes, tomando formas arbitrarias, de dimensiones variables, gracias a su plasticidad en estado fresco.

El hormigón es un material sumamente resistente a la compresión, al igual que las piedras naturales no deterioradas, y en contraste es extremadamente frágil y débil a solicitaciones de tracción. De ahí que se aprovechen sus fortalezas y se rebasen sus debilidades con la aparición del hormigón combinado con barras de acero resistente a la tracción, lo que se conoce como hormigón armado.

Las propiedades del hormigón armado son especificadas por el proyectista de la estructura, y las propiedades del concreto fresco están definidas básicamente por el tipo de construcción, método constructivo y por las técnicas de vaciado o colocación.

El costo de la elaboración del concreto está directamente relacionado al costo de los materiales, del equipo y de la mano de obra. Normalmente quien define el costo final es la cantidad de cemento, aunque el uso de aditivos especiales puede tener una incidencia importante en su costo final.

2.1.2 Marco Conceptual

Hormigón: Es el producto resultante de la mezcla entre áridos finos, gruesos un aglomerante y agua, obteniéndose una roca artificial con propiedades físicas que la hacen óptima para su uso en la construcción.

RCD: Residuos de construcción o demolición (RCD) son los materiales sólidos, inertes que se obtiene en el proceso de construcción o demolición.

RCA: siglas para definir al Árido Reciclado de Hormigón, es el árido o material resultante de un hormigón reciclado.

Áridos: Son materiales granulares formados por roca o arena materiales utilizados principalmente en la construcción y son conocidos como arena, graba, gravilla, etc.

Derrocamiento: Destruir o derribar un determinado objeto elemento de una construcción sea esta un derrocamiento parcial o total.

Cimentación: Conjunto de elementos estructurales de una edificación cuyo objeto es transmitir las cargas de esta hacia el suelo disipándolas de manera adecuada estas cargas.

Granulometría: Es la clasificación, medición y graduación que se da a los materiales pétreos para su correcta selección y uso según especificaciones.

Residuo: Es todo material sólido, orgánico, inorgánico, etc. o producto no deseado considerado como desecho ya que carece de valor económico y utilidad.

2.1.2.1 Fundamentación Legal

La presente investigación basa su sustento según la Legislación **Ordenanza 213** del Distrito Metropolitano de Quito, en su Sección IV, Artículos del II.348. - II.348.10., se establece detalladamente cómo se normaliza el servicio especial de escombros, tierra, y residuos asimilables a escombros. Sobre este aspecto, los temas normalizados son los siguientes:

- **La competencia en el control de los escombros, la tierra producto de la excavación y los residuos asimilables a escombros.** Establece que la entidad competente para precisar políticas y la totalidad de los aspectos afines con la administración de los desechos, tierra de excavaciones, ceniza volcánica y chatarra es el Consejo Metropolitano de Quito, a solicitud de la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente. La colecta y disposición apropiada de los escombros, tierra y restos asimilables a escombros procedentes de emergencias o catástrofes naturales y que aquejen al Distrito, contará con la colaboración de las subordinaciones municipales y las empresas metropolitanas.
- **La obligación de una adecuada disposición final de escombros, tierra, y residuos asimilables a escombros.** Indica que toda persona natural o jurídica, pública o privada que origine desechos o tierra producto de excavación, está comprometido con los efectos negativos que su incorrecta disposición final pudiera tener.

Debe denunciarse la disposición impropia de restos en quebradas o territorios no permitidos, por medio de alguna forma de confirmación como fotografía o video y apuntando la matrícula del vehículo transgresor, de ser el caso. Las pruebas serán mostradas al Comisario Metropolitano de Aseo, Salud y Ambiente de la zona donde se produjo el delito, el cual pronunciará la sanción oportuna.

La incorrecta disposición final de desechos, tierra, y residuos asimilables a escombros, dará lugar a la sanción adecuada.

- **El servicio especial de escombros, tierra, y residuos asimilables a escombros.** Dictamina que las compañías intermediarias o contratistas autorizadas como gestores ambientales según a los Arts. II 381.8 y II 381.9 del capítulo V de esta ordenanza, facilitarán asistencia de recogida de desechos, tierra de excavación y residuos asimilables a escombros, facilitándole al pueblo información sobre cómo adherirse a este servicio así como los precios establecidos, de acuerdo con el estatuto correspondiente emitido por la DMMA.
- Los privados, personas o sociedades, podrán trasladar los desechos, tierra y residuos asimilables a escombros, mientras se ajusten a las reglas pertinentes, depositándolos únicamente en los sitios aprobados.
- **Los sitios de disposición final.** Únicos sitios autorizados por la DMMA a albergar escombros, tierra, ceniza o chatarra. De existir espacios privados de disposición final, deben poseer el permiso manifiesto de esta organización, la cual informará a la población sobre los sitios acreditados e identificados. Asimismo, comunicará de forma escrita a las direcciones zonales los lugares donde puede ser acarreado cada tipo de material.
- **Las características de los escombros.** Los escombros almacenados en las áreas determinadas deberán estar libres de desechos hogareños, industriales u hospitalarios. Los residuos de concreto rígido, no podrán superar en sus longitudes los 1.5 m x 0,5 m x 0,5 m.
- **La permanencia de los escombros.** Es compromiso del productor custodiar por la conducción y disposición terminante del escombros originado y el mismo no podrá invadir el espacio colectivo o alterar el

decorado del lugar, en correspondencia con las Normas de Arquitectura y Urbanismo actuales.

- **La limpieza del sitio de excavación o demolición.** La limpieza del sitio de excavación o demolición y del espacio común o sendas que se vean perturbadas durante la realización de estas labores, es responsabilidad íntegra del contratista o constructor, así como el medio de traslado y disposición de los residuos y de los desechos asimilables a escombros.
- **El permiso de movilización de escombros.** Es requisito obligatorio que las empresas transportadoras de tierra o escombros, porten un permiso general ambiental aprobado por la DMMA, la cual decretará los territorios apropiados en coherencia con la Cámara de la Construcción de Quito. Únicamente dicho instrumento consentirá el tránsito acarreado este tipo de desechos u otro equivalente. En caso de comprobar la violación de lo prevenido en este capítulo y en las normas pertinentes, este permiso podrá ser clausurado por la DMMA o los Comisarios Metropolitanos de Salud y Ambiente.
- **La circulación.** Todos los transportadores de residuos o tierra deberán cumplir con los requerimientos instituidos por las ordenanzas al respecto y el permiso ambiental señalado por la DMMA para la salvaguardia del medio ambiente y el ornato de la urbe, en relación con el manejo de desechos, volumen de carga, uso de carpas, señalización y horarios para el progreso de esta actividad.

El dueño del vehículo, el propietario del sitio donde se haya efectuado la excavación, demolición o construcción y el contratista constituyen los máximos comprometidos con la correcta práctica de esta operación.

Los incumplidores de lo establecido en los artículos anteriores serán sancionados de acuerdo a como lo determina este capítulo, sin perjuicio de las acciones civiles o penales a que hubiere lugar.

- Si dicho servicio es ejecutado directamente por una empresa acreditada, el productor cubrirá el monto que este servicio reclame.

2.1.2.2 Residuos de construcción y su clasificación

Se establecen cuatro categorías para su clasificación que facilitan el establecimiento de las ordenanzas correspondientes a las entidades encargadas de su gestión:

b) **Categoría I:** Residuos de construcción y demolición, que contienen sustancias peligrosas, y requieren de un tratamiento específico que asegure una gestión adecuada y la no interferencia en el reciclaje del resto.

En la tabla 1 se exponen algunos componentes potencialmente peligrosos presentes en los residuos de construcción.

Tabla 1: Potencial contaminante en los RCD

PRODUCTO / MATERIAL	COMPONENTE POTENCIALMENTE PELIGROSO
Aditivos para el hormigón.	Hidrocarburos disolventes.
Materiales a prueba de humedad.	Disolventes, bitúmenes.
Adhesivos, masillas, sellantes.	Disolventes.
Amianto y otras fibras.	Fibras inhalables.
Madera tratada.	Alquitrán, funguicidas, etc.
Sobras de resistentes al fuego.	Compuestos halogenados.
Pinturas y recubrimientos.	Disolventes, plomo, cromo, vanadio.
Iluminación.	Sodio, mercurio.
Sistemas de acondicionamiento de aire y contraincendios.	CFCs.
Productos animales.	Componentes biopeligrosos.
Yesos y placas prefabricadas.	Posible sulfuro de hidrógeno.

Fuente: (Fernández, 2013)

b) **Categoría II:** Residuos inactivos de construcción y demolición mezclados, son aquellos que no han sido seleccionados en su origen y que no permiten su fácil valorización por ser una mezcla heterogénea de residuos inertes.

c) **Categoría III:** Residuos inactivos de construcción y demolición clasificados, apartado en su fuente y entregado de forma separada, facilitando su valorización, y cuyo origen es alguno de los siguientes:

- Hormigones, morteros, piedras y áridos naturales mezclados.
- Ladrillos, azulejos y otros cerámicos.

d) **Categoría IV:** Los residuos comprendidos en esta categoría, serán residuos inertes, algunos de relativa facilidad de reciclaje. Usualmente se utilizan como componentes de nuevos materiales (áridos para hormigón, sub bases, componentes de prefabricados, etc.), mientras que otros se eliminan. Deben cumplir alguna de estas características:

- Aptos para su empleo en adecuaciones, restauraciones, y rellenos, producto de la transformación de derivado residuos de construcción mediante el reciclado y demolición que sean adaptables a determinados materiales de construcción.
- Aquellos otros residuos inertes de construcción y demolición cuando sean declarados adecuados para restauración, acondicionamiento y relleno, mediante resolución del órgano competente en materia ambiental o del órgano competente en materia de minas cuando la restauración, acondicionamiento y relleno esté relacionada con actividades mineras.

Sin embargo, las clasificaciones de estos residuos pueden ser varias y así, atendiendo al origen de estos, se pueden distinguir:

- Residuos de demolición.
- Residuos de construcción.
- Residuos de excavación.

Los materiales empleados en la construcción son de variada naturaleza, lo que comprueba el manejo especial de los mismos, según el tipo de recursos, la

cantidad en existencia, el costo de la extracción y el mayor o menor impacto que generan al ambiente. Así, los materiales de construcción pueden ser:

- **Reciclables y/o Reutilizables** (metales; maderas y otros de origen vegetal; vidrios y cristales; plásticos; telas, papeles y cartones).
- **Exclusivamente Reutilizables** (pétreos, ya sean naturales o artificiales, a los cuales sólo se somete a procesos de trituración para ser reutilizados).
- **Reutilizables sólo por encontrarse mezclados con otros materiales** (los morteros, siendo difícil separarlos de su soporte, no porque se los requiera como materiales en sí mismos). (GLINKA et al., 2007)

En la tabla 2 se muestra tal clasificación de los RCD (residuos de construcción o demolición), de acuerdo al tipo de actividad, incluyendo los principales componentes de los residuos en cada caso (España).

Tabla 2: Clasificación de los RCD de acuerdo al tipo de actividad

Actividad	Objeto	Componentes principales	Observaciones
Demolición	Viviendas Otros edificios Obras públicas	<u>Antiguas:</u> Mampostería, ladrillo, madera, yeso, tejas. <u>Recientes:</u> Ladrillo, hormigón, hierro, acero, metales y plásticos. <u>Industriales:</u> Hormigón, acero, ladrillo, mampostería. <u>Servicios:</u> Hormigón, ladrillo,	Los materiales dependen de la edad del edificio y del uso concreto del mismo en el caso de los de servicios. Los materiales dependen mucho de la edad y el tipo de infraestructura a demoler. No es una actividad frecuente.

		<p>mampostería, hierro, madera.</p> <p>Mampostería, hierro, acero, hormigón armado.</p>	
Construcción.	<p>Excavación.</p> <p>Edificación y Obras Públicas.</p> <p>Reparación y mantenimiento.</p> <p>Reconstrucción y rehabilitación.</p>	<p>Tierras</p> <p>Hormigón, hierro, acero, ladrillos, bloques, tejas, materiales cerámicos, plásticos, materiales no férreos.</p> <p>Suelo, roca, hormigón, productos bituminosos.</p> <p>Viviendas: cal, yeso, madera, tejas, materiales cerámicos, pavimentos, ladrillo.</p> <p>Otros: hormigón, acero, mampostería, ladrillo, yeso, cal, madera.</p>	<p>Normalmente se reutilizan en gran parte.</p> <p>Originados básicamente por recortes, materiales rechazados por su inadecuada calidad y roturas por deficiente manipulación.</p> <p>Generación de residuos poco significativa en el caso de edificación.</p>

Fuente: (Fernández, 2013)

2.1.2 Otros Residuos con aplicaciones en la construcción.

En la construcción, según plantea Mateos de Vicente (2004), se pueden aprovechar cantidades colosales de residuos industriales: como cenizas volantes que servirían para conformar firmes, codales, terraplenes, bloques cerámicos, y como aditivo al hormigón hidráulico, al hormigón asfáltico y a algunas tierras agrícolas. Se pueden además, transformar en otros productos, como la lana de vidrio. Según Mateos de Vicente, eran potencialmente un cementante genuino, algunas de ellas, al que llamó “cemento Mateos”, que eran el cemento más barato del mundo, al ser desechos.

En la construcción de carreteras, para la confección específicamente de terraplenes se usan las escorias, como suplente de una porción de la grava. También en terraplenes, o como capa final en caminos.

Los restos de canteras, ya sea de piedra labrada o balasto, tienen una granulometría que permite usarlos hasta en capas de base o sub-base de carreteras (Vicente, 2004).

En contestación a la creciente preocupación social del medio ambiente, instituciones de Madrid ha apoyado el progreso de un proyecto experimental que pretende probar la viabilidad de usar neumáticos fuera de uso (NFU) en la construcción de terraplenes, desempeño que proporciona ventajas ambientales significativas: en primera instancia el empleo de un residuo, que aunque no es un residuo de construcción, su existencia representa un problema desde el punto de vista ambiental, y en otra pretensión, se reduce el empleo de recursos naturales no renovables en el relleno de cuerpos de terraplén.

Ilustración 1: Foto 1: Trituradora de Neumáticos Fuera de Uso desmenuzados. Foto 2: Neumáticos, desechados



1



2

Fuente: (Henry & Cairns, 2004)

Otros productos como los sulfitos de papeleras pudieran mejorar la compactación de algunas capas de firmes de carreteras, o para su tratamiento superficial. Se ha recomendado también la usanza, por Mateos de Vicente (2004), de cartón como aglutinante de las semillas en una plantación de taludes de carreteras, en lugar de la usualmente empleada emulsión asfáltica. Para conformar paneles aislantes de edificios se ha empleado desechos de papeleras y papeles viejos, que también pueden ser reciclados como papel.

Existen estudios de la Universidad del Estado de Iowa, donde se evalúa el empleo de los restos de la industria del azúcar como las melazas, en la construcción de firmes ya que hacen más compactos algunos tipos de materiales, como las zahorras, o ser usados en tratamientos superficiales.

Subproductos de algunos procesos industriales como los cloruros cálcico y sódico se pueden aprovechar en la construcción de secciones de la base de vías de carreteras, por su efecto lubricante en capas inferiores al pavimento, además contribuyen a paliar el polvo.

El azufre puede ser sustituto del asfalto o utilizarse en preparados de hormigón de azufre, sin cemento, para capas de base o sub-base de firmes de carreteras. Sin embargo es de obligatorio cumplimiento su retirada de las emisiones de centrales térmicas que queman carbón o carbón en polvo para evitar sus efectos devastadores en los sistemas ecológicos, y monumentos

arquitectónicos, lo que facilita su adquisición. Una de sus aplicaciones puede ser como sustituta del asfalto o también en preparados.

Los carbonatos tiene muchas aplicaciones en la construcción, y una de ellas es estabilizar los suelos agrícolas y muchos son subproductos de la industria del acetileno.

Los vidrios se están recogiendo en muchas ciudades para reciclarlos ya que se pueden usar como sustitutos de la grava en hormigones y asfaltos.

Los aceites usados de vehículos se pueden reciclar, pero también usarlos como combustible, tal vez en la industria del cemento. Se usan como paliativos del polvo en caminos de tierra y de macadam, o pistas del desierto.

En la Universidad del Estado de Iowa se investigó la utilización de los desechos que producía la ciudad de Ames, donde está enclavada. En virtud de esto se desarrolló un método original para separar el aluminio de la basura, que se incorporó en las instalaciones locales. La parte calcinada se está utilizando como combustible economizando carbón. Los restos de ciertos materiales pueden usarse en la construcción, generalmente como relleno de terraplenes o en hormigón ciclópeo.

Los residuos de ladrillos y cerámica tienen varias aplicaciones al sustituir la grava; en algunos casos se usan sistemáticamente desde hace muchos años. En Bagdad usan restos de ladrillos rotos, al tamaño de la grava, como material para la base del firme de las calles (Vicente, 2004, pág. 56).

Se considera de mucha importancia el esfuerzo realizado a nivel mundial por diversos investigadores que aportan soluciones amigables con el medio ambiente para el sector constructivo, contribuyendo al desarrollo sostenible del propio sector.

2.1.3. Áridos procedentes del hormigón reciclado

2.1.3.1. Características de los áridos reciclados. Comparación entre los áridos reciclados y los áridos naturales

En todo el mundo, la industria de la construcción es una de las mayores consumidoras de recursos naturales tales como áridos que son utilizados en la confección de hormigones y cementos.

Los áridos naturales son los que se obtienen directamente como resultado de la desintegración de las rocas (Rosa & Blanco, 2010). Por su parte, Asso (1977), plantea que el árido artificial es el resultado del proceso de trituración y clasificación de las rocas.

Las normativas plantean que los **áridos gruesos** son los que poseen partículas superiores a 4.76mm, y que los **áridos finos** son aquellos que poseen partículas de un tamaño desde 0.149mm hasta 4.76mm.

El **árido reciclado** es el material granular resultante del tratamiento de materiales inorgánicos utilizados previamente en la construcción, que tras someterlos a un proceso de reducción de tamaño y cribado, y al analizarlos en el laboratorio, cumplen con las especificaciones técnicas para una aplicación dada dentro del sector de la construcción y de la obra civil. Es el principal producto de valorización de los Residuos de Construcción y Demolición, obtenido a partir de la parte pétreo de estos residuos.

Al igual que para los áridos naturales, las características básicas que definen las propiedades del material son: contenido en materia orgánica y sales solubles, coeficiente de los ángulos, granulometría, etc., con alguna diferencia propia de su naturaleza, como la naturaleza heterogénea de sus componentes.

Según Tertre (2007) los áridos reciclados pueden caracterizarse bien por su fracción granulométrica: arenas, gravas, bien por su procedencia: áridos de hormigón, áridos de asfalto, áridos de cerámico, materiales inertes. Para poder determinar las aplicaciones de los áridos reciclados, hay que conocer el origen de RCD y la composición final del árido.

2.1.4. Propiedades de los áridos reciclados según su origen

Los RCD varían en su composición en función del tipo de infraestructura de la cual provenga y sus componentes mayoritarios, muestran la distribución porcentual de las materias primas que utiliza el sector. Es preciso destacar, que sus componentes dependen directamente de los hábitos constructivos y de la disponibilidad material de cada país.

Gráfico 1 : Composición en porcentaje de los RCD



Fuente: (Oikonomou, 2005)

Los componentes minoritarios por su parte se relacionan con un número de factores mucho más amplios como pueden ser el clima del lugar, el poder adquisitivo de la población, y las actividades de explotación de los inmuebles, etc.

Por otro lado, los elementos componentes de las edificaciones no son constantes en el tiempo y tampoco la composición de los RCD, se relacionan estrechamente con la longevidad del edificio o estructura que es objeto de demolición.

Según su origen, los áridos reciclados pueden clasificarse en:

- **Árido reciclado de hormigón:** se obtiene de machacar, tamizar y procesar los residuos de hormigón de cemento Portland y áridos naturales en plantas de reciclaje. El hormigón, cuya composición es heterogénea (cemento, áridos, agua, aditivos, y adiciones), no puede considerarse un material uniforme.
- **Árido reciclado cerámico:** se obtiene de procesar residuos con presencia predominante de material cerámico. El 85% de este árido debe tener una densidad superior a 1600 kg/m^3 para evitar la presencia de materiales excesivamente ligeros y porosos.

- **Árido reciclado mixto:** está definido como un árido que debe contener un porcentaje de hormigón superior al 50% con una densidad seca superior a 2100 kg/m^3 y no más del 50% de materiales pétreos reciclados de diferente naturaleza que el hormigón, incluyendo el material cerámico, con una densidad seca superior a 1600 kg/m^3 (Páramo, 2011)

Los más estudiados y los que presentan un mayor número de aplicaciones son los áridos reciclados que proceden del hormigón. El RCD puede tener orígenes tan variados como elementos prefabricados, cimentaciones, estructuras de edificios y bases de firmes rígidos, etc.

En un proceso de producción adecuado, los finos de los áridos de granulometrías continuas están compuestos únicamente de hormigón. Esto provoca valores equivalentes de arena altos. El equipo de machaqueo determina en gran medida la forma de los áridos reciclados. Los molinos de impactos proporcionan forma cúbica al árido, sin embargo la experiencia ha demostrado que el hormigón tiende a romper en bloques pequeños, generando partículas alargadas y planas.

La resistencia a la fragmentación y la absorción de agua son los puntos más desfavorables. Esto se debe a la fracción de mortero adherido al árido natural procedente del hormigón inicial, razón que a su vez es la que favorece la compactación de los áridos, compensando su resistencia a la fragmentación.

Según el autor Tertre (2007) se han obtenido buenos resultados sustituyendo el 10% del árido reciclado dosificado con el árido natural, alcanzando así una buena caracterización del árido y del hormigón fabricado con él.

De las capas de aglomerados asfálticos se originan áridos reciclados que presentan un núcleo constituido por el árido natural de origen, revestido por una matriz de asfalto, resistente a la abrasión. Se caracterizan por mostrar propiedades muy similares a los de hormigón, pero con una absorción de agua menor y una densidad máxima de compactación mayor. Sus aplicaciones se limitan a las bases y sub bases en basamentos de carreteras, sin embargo, el resultado en la puesta en obra es excelente.

Los áridos elaborados a partir de materiales cerámicos clasificados, así como los procedentes de mezclas son ampliamente utilizados en jardinería y coberturas ecológicas, puesto que retienen humedad debido a su higroscopicidad.

En tanto, los materiales inertes de fracción 0-40mm, presentan condiciones de compactación óptimas, y por ende se consideran idóneos como áridos para rellenos de restablecimiento de espacios degradados y como suelos de rellenos en núcleos de terraplenes (Tertre, 2007).

Los áridos procedentes de residuos de hormigón se consideran más homogéneos que los áridos de RCD, aunque el hormigón es un material heterogéneo. Si se analiza la distribución porcentaje en volumen de las distintas materias primas utilizadas en la construcción, pudiéramos suponer que al ser los áridos el producto con mayor presencia en los materiales de construcción y específicamente en el hormigón, le confiere a los materiales de él derivados, una mayor homogeneidad.

Tabla 3: Volúmenes de materias primas utilizadas en la construcción.

MATERIA	% EN VOLUMEN
Arena	60
Yeso natural	1
Metales	4
Grava	14
Caliza (Producción de cemento)	6
Arcilla	6
Piedra natural	4
Madera	2
Petróleo (plásticos)	3
Total	100

Fuente: (Fernández, 2013)

Comparación entre árido reciclado y árido natural

Debido a la estrecha relación entre la resistencia mecánica del hormigón, la adherencia con la pasta de cemento, la *distribución granulométrica*, la *forma de las partículas* y el *por ciento de absorción de agua*, estas son las propiedades de los áridos reciclados más estudiadas. Siendo la distribución granulométrica y la forma de las partículas las de mayor relación con los equipos empleados en la trituración.

La distribución granulométrica de los áridos interfiere significativamente en la dosificación de las mezclas, y ejerce una gran influencia en la adherencia de los hormigones en estado fresco.

Según el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas de España (2009), las propiedades físicas de los áridos reciclados están dadas por el producto del hormigón que tras el proceso de trituración, es una mezcla de árido grueso ($\geq 4\text{mm}$) y árido fino ($\leq 4\text{mm}$). El árido grueso obtenido fluctúa en un porcentaje entre el 70% y el 90% de la masa total del hormigón original.

Esta fracción gruesa, aunque suele presentar un mayor porcentaje de desclasificados inferiores, posee una distribución granulométrica que se adecua a casi todas las aplicaciones de material granular en construcciones, incluso en la producción de un nuevo hormigón. La forma de los áridos reciclados que se obtienen es bastante similar a la de los áridos naturales.

El árido resultante, debido a la permanencia del mortero adherido a su superficie, presenta una textura generalmente rugosa y porosa. Su densidad respecto al hormigón original es muy similar, pero entre un 5-10% menor que la del árido natural empleado para la producción de dicho hormigón, aunque se considera un árido de densidad normal ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$). Los valores más habituales en el caso de la densidad real varían entre $2.07\text{-}2.65 \text{ kg/dm}^3$ y para la densidad saturada con superficie seca entre $2.10\text{-}2.64 \text{ kg/dm}^3$.

Las arenas recicladas, por su mayor contenido de mortero, poseen un valor de densidad inferior al de las gravas, estando, en la generalidad de los casos, la densidad real por debajo de 2.3 kg/dm^3 y la densidad saturada menor que 2.5 kg/dm^3 . Es por ello que puede establecerse el control de la densidad como un

índice de la uniformidad del árido reciclado. Es la absorción la mayor diferencia entre las propiedades de los áridos reciclados y los convencionales, la cual depende de la composición del hormigón original, cuyos valores más habituales se sitúan entre 4-9%. En el caso de las arenas recicladas, debido a la alta absorción del mortero adherido que acumulan, se obtienen resultados superiores. Como consecuencia, los valores suelen situarse entre el 5 y 15%. En el ensayo de Los Ángeles, las gravas recicladas presentan un desgaste comprendido entre el 25-45%, superior al que suele encontrarse en las gravas naturales.

En cambio, se observan disminución de las propiedades de friabilidad (facilidad en la que se desmenuzan las partículas) al ensayar arenas recicladas oscilando entre el 17 y 34%, valores comunes en las arenas naturales. El factor más influyente negativamente en la calidad del árido reciclado es la presencia de mortero adjunto al árido natural, en cuyos casos la friabilidad varía entre 25-60%. Algunas investigaciones confirman que el contenido de mortero influye además en propiedades como la densidad, el coeficiente de Los Ángeles y la absorción. La peor calidad se presenta en las fracciones más finas por poseer mayor contenido de mortero.

2.1.4.1. Sus procesos y manufacturas.

Existen dos versiones para establecer instalaciones de reciclaje: fijas y móviles, cuyos principios de funcionamiento son los mismos: combinando procesos de trituración de los desechos receptados con procesos de tamizados, por tamaño, según el material de origen y el resultado que se pretende obtener. Los escombros mayormente tratados son: las mezclas de tierras y piedras naturales, los de material cerámico, asfálticos, hormigón en masa, armado y prefabricado.

Las instalaciones fijas se establecen en el epicentro geográfico de producción de escombros para brindar un servicio continuo. La disminución de los costes de transportación serán más apreciables cuanto más cercano geográficamente esté el origen del destino. Por otro lado, debe existir una certera voluntad de los actores políticos al exigir, mediante licencias de obra, y otros

mecanismos, a los transportistas de escombros a depositar los residuos en estas plantas.

Por el contrario, las instalaciones móviles se desplazan dentro de distintas obras o zonas con varias obras para tratar los escombros producidos, acercando el lugar de procesamiento al lugar de producción de desechos. Su principal característica reside en que cada elemento (criba, machacadora, etc.) se establece sobre un equipo auto portante, usualmente sobre esteras, que permite su propio desplazamiento y la carga sobre camión. Varias de estas unidades combinadas, puede alcanzar incluso mayor versatilidad que las propias instalaciones fijas.

El componente crucial en estas instalaciones es la trituradora. Dispone de un alimentador de cadenas, un molino de impacto o hidráulico (sistema de machaqueo), cabinas de triaje y un separador magnético, neumático (hidrociclones o soplantes) o hidráulico, según sea la tecnología de tratamiento. El primero, recibe los escombros y los introduce en el molino que los machaca hasta que se alcanza el tamaño previsto. A la salida, se utiliza el electroimán retirar la fracción metálica, en su mayoría ferralla, incluida en el hormigón.

La decisión de la instalación de una planta móvil o fija se decanta tomando a consideración factores técnicos y económicos, tales como el volumen de escombros generados, el cribado en inicio y las fracciones resultantes de este proceso, los tipos y cantidades de productos finales y el potencial emisor de obras inmediatas que podrían suministrar escombros. Penosamente cuando no concurren suficientes razones para establecer una planta móvil, ni existe una fija en el radio de alcance a donde se entreguen los desechos de construcción, estos terminan, sin tratamiento alguno, mezclados a otros desechos de naturaleza totalmente diferente.

Una adecuada gestión de desechos en todas las etapas de las obras garantiza la calidad en el producto final, ya que el producto final depende del escombros inicial y de su clasificación para conseguir una homogeneidad en sus características, para lo cual se recomienda la recolección selectiva en botes o acopios, recompensando el cribado de materiales sobre el cronograma de ejecución.

Según sus características, los productos obtenidos pueden emplearse en usos diferentes. La peor calidad se obtiene únicamente con cribado, mientras que

la mejor se logra tras su triturado y posterior clasificado. Sus usos más frecuentes son como sub bases de carreteras, drenajes, material estabilizador de explanadas, consolidación de terrenos, aporte en mantenimiento de caminos y pistas, rellenos varios, etc. Para determinar las propiedades exactas de cada tipo de producto, se han realizado multitud de ensayos con el objetivo de extender su campo de uso. En la actualidad, su uso como árido en hormigón es la aplicación más ambiciosa.

En los talleres de Eco materiales se ha implantado una infraestructura donde es posible la trituración a pequeña escala de piedras naturales recolectadas localmente o escombros de construcción generados en los alrededores. Para ello se cuenta con un molino de mandíbula para la trituración primaria y un molino de martillo para la trituración secundaria, que permite obtener áridos gruesos y finos respectivamente.

Por otro lado se han diseñado plantas de tratamiento para la obtención de áridos reciclados a gran escala que en líneas generales, son similares a las empleadas en áridos naturales, aunque incorporan de manera específica elementos para la separación de impurezas y otros contaminantes. Las técnicas empleadas para la selección, separación y clasificación de los residuos que entran en las plantas, así como sus distintos sistemas de tratamiento y se exponen a continuación.

Sistemas de trituración:

Las plantas de trituración tienen, como objetivo general, la obtención de un material granular con un tamaño menor a 40 mm. Para ello se emplean maquinarias similares a las utilizadas en las instalaciones de la minería, como canteras y graveras, pero adaptadas a las exigencias del material reciclado. Es importante considerar que, independientemente del procedimiento de trituración a utilizar, el proceso de demolición debe proveer medidas individuales que puedan ser aceptadas en la planta por un triturador primario (1200mm para la mayoría de plantas fijas y de 400 a 700mm para plantas móviles). Además, este proceso determina también diferentes partículas y la cantidad de mortero adherido. Las trituradoras o molinos pueden ser de tres tipos: de impacto, de mandíbula o de cono.

- **Molino de impacto:** efectúa una trituración por impacto rotativo que permite la entrada de materiales muy heterogéneos y con características físicas muy diferentes. Producen áridos de buena calidad pero su principal inconveniente es que con los impactos las partículas sufren un gran desgaste y se obtiene hasta un 40% de finos.
- **Trituradoras de mandíbula:** es un sistema de machacado en el que una mandíbula móvil se mueve sobre otra fija, en la que el material cae antes de ser aplastado. A pesar de que la forma de las partículas obtenidas es más angulosa, estas trituradoras producen áridos con una buena distribución granulométrica para su utilización en hormigón, ya que el contenido de finos es reducido (inferior al 10%).
- **Trituradora de cono:** se encarga de la trituración a través de martillos libres y oscilantes que se encuentran unidos a un eje giratorio. Concebido de forma tal que permite la entrada de cualquier tipo de material. Sin embargo, en ocasiones, la presencia de materiales de baja granulometría, que en este método se producen en una cantidad intermedia de hasta menor del 20%, puede producir bloqueos.

No obstante, en la práctica pueden existir uno o varios procesos de trituración en los cuales se combinen diferentes tipos de maquinaria.

La elección de cada una de ellas depende, esencialmente, de tres factores: consumo de energía, costo de producción y calidad del producto (Páramo, 2011).

En la tabla 1.5 se muestra lo anteriormente mencionado con relación a la elección de las máquinas de trituración:

Tabla 4: Elección de las máquinas de trituración

Características	Mandíbulas	Impactos	Conos
Capacidad	Alta	Media	Bajo
Costo de producción	Bajo	Media	Alta
Desgaste	Bajo	Bajo	Alta
Calidad del árido	Bajo	Media	Alta

Contenido en finos	Bajo	Media	Alta
Consumo de energía	Bajo	Media	Alta

Fuente: (Páramo, 2011)

En el procesado del árido reciclado respecto al árido natural resulta crucial la eliminación de impurezas y otros contaminantes. Las metodologías habitualmente empleadas tienen su origen, en gran medida, en la industria minera. Previamente, durante la demolición, se debe evitar que los escombros de hormigón se mezclen con tierra y conseguir que se reduzca al máximo el contenido de otros materiales de construcción no deseados, lo que repercutirá favorablemente en la reducción de tratamientos posteriores (Páramo, 2011).

Generalmente, en una planta de reciclaje que recibe los residuos mezclados libres de componentes peligrosos, seguido de una separación manual con el objetivo de eliminar los plásticos, madera, papel y otros residuos no metálicos, la fracción de material denominada "mezcla de RCD" es tamizada de forma manual incluso antes de ser pasada por un tamiz o un separador magnético.

La "mezcla de los RCD" antes de ser pasada por un separador de aire que elimina la fracción ligera (pequeñas piezas de papel, plásticos que se escapan de la primera clasificación) se somete a un machaqueo y a una separación magnética. Algunos centros de reciclaje poseen también plantas de procesado de madera y de compostaje.

Para el caso de una planta que reciba la fracción limpia de ladrillos, tejas, hormigón armado y sin armar, la fracción de ladrillos rotos, restos de hormigón armado y sin armar son cribados para eliminar la fracción que presente tamaños comprendidos entre 0-45 mm (divididos a su vez en dos subfracciones 0-4 y 4-45 mm). La fracción que presenta tamaños de partícula >45 mm es conducida a una machacadora.

Antes de ser seleccionados en fracciones comprendidas entre 0-45 y >45 mm se eliminan de la mezcla de materiales por medio del separador magnético todos los metales férricos.

La división que presenta porciones de partícula mayores de 45 mm es almacenada para ser posteriormente sometida a una trituración y la fracción comprendida entre 0-45 mm se somete a un tamizado en subfracciones de 0-4

mm, 4-8 mm, 8-16 mm, 16-32 mm y 32-45 mm. Estas subfracciones en algunos casos son mezcladas nuevamente en función de la demanda del mercado.

La fracción resultante del proceso de la trituradora (0-45 mm) en lugar de ser clasificada en fracciones, puede ser sometida a un clasificador de aire, seguido de un lavado, una separación magnética y finalmente a una nueva clasificación mediante tamizado.

2.1.4.3 Sus usos en la elaboración de nuevos productos de construcción.

El primer uso de materiales reciclados en la construcción se reporta desde la Segunda Guerra Mundial, donde las ruinas de las ciudades forzaron a los constructores a emplear el material disponible en plétora. Actualmente entre un tercio y dos quintos de los residuos totales son residuos de construcción y demolición, y pueden ser una variante tentativa para confeccionar hormigones de gran calidad y es el propio hormigón el material más cuantioso en los RCA.

Las propiedades de este material, como el origen y la granulometría, la relación a/c, petrografía, tipo y cantidad de aditivos agregados, y las características físicas, la cantidad de cloruros y sulfatos; posibilitan la creación de la reacción álcali-sílice que deben ser considerados en el uso del RCA en el hormigón nuevo. Las características químicas, especialmente en los casos en que aparecen RCA para crear productos resistentes a la lixiviación, también deben tenerse en cuenta.

El principal uso de los RCA en la actualidad es la base de relleno, construcción de carreteras y construcción de pavimentos.

Según Alaejos (2008) se pueden valer de los mismos criterios de dosificación de los hormigones convencionales, sustituyendo los áridos gruesos de origen natural por los áridos gruesos reciclados procedentes de hormigón, tanto para hormigón en masa como para hormigón armado. Sin embargo, no se admite por algunas normativas, el uso de áridos reciclados mixtos o cerámicos en hormigón estructural.

El uso de árido reciclado cerámico en hormigones no estructurales puede ser comparado al del árido ligero. Su empleo incita a un incremento del contenido de aire y exige una relación agua / cemento (a / c) superior. Consecuentemente, la resistencia a

compresión y el módulo de elasticidad del hormigón pueden percibirse disminuidas. El único tipo de árido reciclado que puede ser admisible para hormigón estructural es el de hormigón y se han impuesto valores límites para las impurezas que puedan tener efectos negativos sobre la resistencia y durabilidad. El resto de tipos de áridos podrían ser utilizados en otras aplicaciones menos exigentes (Gutierrez, 2010, pág. 89).

Existen desventajas en el uso de las fracciones finas del árido reciclado, entre ellas un incremento considerable de la retracción y de la fluencia debido al requerimiento acrecentado de agua en su dosificación. Puede casi generalizarse que, cumpliendo en su caso las especificaciones complementarias para cada aplicación concreta, los áridos reciclados de hormigón con tamaño $\geq 4\text{mm}$ son potencialmente aptos para la fabricación de hormigón. En la fabricación con áridos reciclados procedentes de hormigón, su sustitución por el árido grueso convencional en proporción menor o igual al 20%, las propiedades mecánicas permanecen prácticamente constantes. En caso de utilizar porcentajes mayores de sustitución, los efectos sobre estas pueden representar una limitación en diferentes casos (Páramo, 2011).

Una propiedad muy importante a considerar cuando los áridos reciclados proceden de los RCD es su composición química. Este aspecto se manifiesta puntualmente en el reporte de Martín, Zamorano & Valverde (2010) donde la composición química de los áridos reciclados mixtos es su punto más débil, principalmente por sus altos valores de sulfatos y cloruros. Dichos autores aconsejan que para aumentar la calidad de los áridos reciclados así cumplir los requisitos de la EHE (Instrucción de Hormigón Estructural) deberían mezclarse los mismos con áridos naturales. Además estos deberían mejorarse extrayendo manualmente el yeso antes de ser triturados en la planta de tratamiento e inmersos totalmente en el agua para reducir los cloruros (Martín, Zamorano, & Valverde, 2010).

El estudio del CLEAM (Construcción Limpia, Eficiente y Amigable con el Medio Ambiente; Proyecto de Investigación Industrial) exhorta a acotar el uso de hormigones reciclados en concretos en masa con áridos mixtos. En el supuesto que sea utilizado para confeccionar hormigones armados estos no deben superar la clase de exposición I (no agresiva). En el propio estudio se proponen, al final, transformaciones para los requisitos que actualmente establece la EHE-08 para los áridos reciclados, asintiendo a la utilización de áridos reciclados mixtos con

valores de absorción inferiores al 10% y un contenido de asfalto hasta 5%, excluyendo la especificación del 5% de material cerámico (Páramo, 2011).

Sean & Diskiv (2007) habían investigado con antelación el uso de la trituración de ladrillos mezclada con áridos reciclados de hormigón de pavimento para la producción de bloques de hormigón. Obtuvieron como resultado que el empleo de los finos de la trituración de cerámica causaba la pérdida de densidad y de resistencia a compresión, así como un aumento en la absorción de agua de los bloques de pavimento fabricados. No obstante a estos inconvenientes, dichos autores afirman que es posible sustituir los áridos finos reciclados de hormigón por árido fino resultante de la combinación de ladrillos y tejas triturados en un 10% para la fabricación de los bloques de pavimento sin que estos dejen de presentar un resultado satisfactorio (Sean & Diskov, 2007).

Estudios llevados a cabo por Sean & Diskiv (2007) proponen la viabilidad de usar áridos reciclados cerámicos, en forma de árido grueso o bien, de árido fino. La trituración de la mayoría de ladrillos y tejas, ofrece como resultado, áridos de partículas con tamaño que no superan los 5 mm, a causa de las pobres propiedades físicas que presentan.

Andrés (2011) en su estudio, garantiza que siempre que las impurezas de los áridos reciclados cerámicos se encuentren dentro de límites admisibles, establecidos por normas nacionales e internacionales, es posible diseñar dosificaciones para el hormigón con materiales reciclados como áridos gruesos de igual forma a como se diseñarían para agregados tradicionales. No obstante, adicionan que, antes del comienzo de la fabricación, es imprescindible que el árido cerámico reciclado, cuya tasa de absorción de agua es alta, se encuentre en unas condiciones de saturación con superficie seca.

Este autor concluye que con una dosificación adecuada, se pueden obtener hormigones de categoría resistente H15, con un 100% de árido reciclado cerámico (con hasta un 10% de absorción). Sin embargo, la retracción del hormigón reciclado puede alcanzar valores elevados. Esto hace necesario que para aplicaciones donde la retracción sea una propiedad importante (especialmente grandes superficies de hormigonado) se tomen medidas para evitar una fisuración excesiva del hormigón (Páramo, 2011).

En algunas naciones los áridos de hormigón reciclado se emplean en el hormigón de baja resistencia. Su composición química y mineralógica variable se

ha convertido en una barrera para su mayor utilización en materiales como el concreto. No obstante, la sobre-explotación de áridos naturales procedentes de fuentes no renovables, estimulará el establecimiento en un futuro no lejano, de pautas y procedimientos para el uso de los RCA en hormigón (Oikonomou, 2005).

Residuos de cerámica.

Forma parte como elemento principal de productos muy utilizados en los muros de fachada y particiones interiores, fundamentalmente ladrillos, baldosas, y tejas. Por tanto significan una fracción estimable de los RCD.

Es muy usual el recorte de estas piezas o el hacer rozas para facilitar el paso de las instalaciones, por lo que se aconseja disponer del espacio para su almacenaje con el fin de ser reutilizados en la misma obra o en otras.

Si no es viable su reciclado se pueden almacenar como escombros o restos de obra junto a otros RCD inertes (áridos, tierras,...) pudiéndose depositar en vertederos controlados de tierras y escombros.

Si son de gres, este también puede ser reconsiderado, aunque el proceso se torna más complejo dada su diversidad y la pequeña cantidad.

Así, como última pretensión, se puede utilizar como material de relleno o de acopio en vertederos de escombros controlados.

Los residuos de porcelana, se pueden aprovechar como relleno de obras y vías o para fabricar hormigón reciclado previamente triturado.

Residuos de hormigón.

Es el material preponderante en las estructuras y sus cimentaciones. Se permite su reciclaje como árido para un nuevo hormigón, pero para ello, se necesita de su limpieza en cuanto a residuos de albañilería así como de maderas, metales y plásticos.

También se puede han empleado en la modificación del paisaje en el que se conforman zonas ajardinadas o en obras civiles disponiéndose como sub-bases de carreteras o relleno de terraplenes.

En función del tipo de obra y el uso posterior del residuo, el tratamiento de trituración será diferente.

Por otra parte, el polvo generado en la extracción de piedras puede utilizarse como adición y conseguir el aspecto pétreo en la elaboración de morteros monocapas, por ejemplo.

También se podría reciclar en elementos de hormigón prefabricados, como vigas, pilares, viguetas, paneles, losas alveolares, tuberías o piezas de mobiliario urbano.

En última instancia se podrían situar en contenedores aledaños a otros escombros inertes y llevarlos a un vertedero de tierras y escombros.

2.1.5. Experiencias en el uso de áridos reciclados.

Experiencias en Europa.

Aunque a altura práctica, en España el uso de árido reciclado procedente de hormigón para la fabricación de un nuevo hormigón, es muy inapreciable, existen ya algunos casos donde se ha utilizado o está previsto utilizar áridos reciclados.

En obras emblemáticas de Barcelona, como el puente de Marina Seca, se ha construido utilizando hormigón reciclado en alguno de sus elementos. Se utilizó un árido reciclado de una única fuente (fracción 4/25 mm), con una absorción promedio de 6,7%, libre de cloruros, y sulfatos. Las partículas de hormigón superaban el 95% del árido reciclado.

La experiencia inicial, que culminó en el año 2008, plantea utilizar hormigón reciclado en un puente atirantado de hormigón armado, situado en Manises (Valencia), propiedad de la Diputación de Valencia. Dicho puente fue construido en sustitución de una estructura de hormigón preexistente. El objetivo del proyecto es reciclar el material de hormigón procedente de la estructura para la fabricación de parte del hormigón de su sustituta, utilizando un remplazo del 20% del árido natural por árido reciclado en el hormigón en parte de la losa.

En 1988 en las cercanías de Meppel, Países Bajos se manejó aproximadamente 500 m³ de hormigón reciclado en la construcción de los estribos de un viaducto en la carretera RW 32. En 1990 se construyó el segundo viaducto en esa misma zona bajo los mismos principios. En este caso se utilizó el árido grueso reciclado (en un porcentaje del 20%) para todas las partes de

hormigón del viaducto. La cantidad total de hormigón reciclado que se usó fue de 11.000 m³.

En las obras de la compuerta del puerto en las proximidades de Almelo (en 1988) se emplearon unas 2.000 t de hormigón reciclado para la construcción de la losa de hormigón bajo el agua.

La primera experiencia práctica en la que se utilizó hormigón con áridos reciclados en el Reino Unido se llevó a cabo en Watford en el año 1995 durante la construcción de un bloque de oficinas. Se empleó hormigón triturado procedente de la demolición de un edificio de 12 plantas en el centro de Londres. El árido grueso se utilizó para la construcción de cimentaciones, pilares y forjados.

Para la ampliación del puerto de Antwerp, Bélgica se procedió en 1987 a la demolición de varios muros del puerto y la construcción de una compuerta mayor. La demolición se realizó con explosivos, originando unos 80.000 m³ de escombros. Por consideraciones tanto ambientales como económicas se optó por la utilización de los escombros de hormigón para la fabricación de hormigón reciclado.

En Alemania se usó árido reciclado para la construcción de grandes bloques de hormigón como elementos decorativos en el Centro de Exposiciones de (Magdeburg, 1999). Estos bloques se encuentran en el exterior y en contacto con agua. En este caso, solo se empleó árido grueso reciclado.

En 1993-1994 se construyó la sede de la Fundación Alemana para el Medioambiente (Deutsche Bundesstiftung Umwelt). Se empleó árido reciclado en la construcción de los elementos estructurales de hormigón, realizándose una estricta selección de los áridos reciclados y un exhaustivo control de calidad.

Uno de los proyectos más significativos sobre reutilización de escombros de demolición para la fabricación de hormigón ha tenido lugar en Dinamarca. La construcción del "Great Belt Link" una gran red de enlace entre Dinamarca y Suecia, suponía la modificación de la red de carreteras existentes y la demolición de varias estructuras, entre las que se encontraba la demolición de un puente de hormigón armado. En esta demolición se llevaron a cabo distintas investigaciones sobre técnicas de demolición y utilización del hormigón triturado como árido para un nuevo hormigón. En Japón se emplean los áridos reciclados como material para la fabricación de bloques de hormigón prefabricados (Gutierrez, 2010, pág. 104).

El Viaducto de Lai Chi Kok (LCKV), Hong Kong es parte de la nueva Route 8 que unió el aeropuerto internacional de Chep Lap Kok con la zona de Shatin. Se trata de una estructura elevada de 1.4 kms. de longitud, con cuatro ramales de acceso y salida, comprendida entre el viaducto de Ngong Shuen Chau y el túnel de Eagle's Nest, y construida en su mayor parte por el sistema de voladizos sucesivos prefabricados de hormigón, con vanos que varían entre los 45 y los 85 metros. Los residuos de hormigón destinados a reciclaje mediante su machaqueo en obra procedían del deshecho de demolición de pavimentos y otras estructuras de hormigón contempladas en proyecto (Pampín, 2008).

Experiencias en Latinoamérica.

En México se ha utilizado los residuos de materiales cerámicos para la construcción de viviendas en el Estado de Quintana Roo (Lepe, 2007).

En Estados Unidos de América la Asociación Federal De Carreteras en 1985 durante la ampliación de 7000 carreteras en Wyoming, recicló los pavimentos de hormigón, donde el agregado fue una mezcla de materiales naturales y reciclados, con lo que se ahorró el 16% del costo total de la obra (Machado, 2008).

De forma general las estadísticas sobre el uso de los áridos reciclados por grupos de países se comporta de la siguiente manera:

- **Holanda, Bélgica y Dinamarca** superan el 90% de reciclaje para la fracción de hormigón, ladrillos, tejas etc., dentro del estándar básica de RCD, y en concreto, Holanda y Bélgica, mantienen este excelso grado de reciclaje para el resto de las fracciones que componen la corriente de residuos elemental, reciclando también el 100% del asfalto procedente del residuo de construcción de las vías.

Este comportamiento de reciclaje se debe principalmente, a la escasez de materias primas para la obtención de áridos vírgenes, y la imposibilidad de encontrar emplazamientos para vertederos, unidas a otras medidas de carácter legal y económico

- **Finlandia, Austria y el Reino Unido** reconsideran el 40 - 45% de los residuos básicos de construcción y demolición y entre el 50 y el 76% (Austria y Finlandia) de la corriente de hormigón, ladrillos, tejas etc.

Los factores que en estos países han impulsado el reciclaje, residen en una política de gestión de residuos que ha utilizado instrumentos de tipo económico (impuestos sobre el vertido) y legales (obligación de demoler selectivamente, acuerdos voluntarios, planificación y control).

- **Suecia, Alemania y Francia** reciclan el 15 - 20% de los residuos básicos de construcción y demolición. La baja cuota de reciclaje en Alemania contrasta con el elevado número de machacadoras operativas que hay en este país (1.000 con capacidad media de triturar 120.000 T/año). Lo contrario sucede con los datos para el Reino Unido, donde se estiman solamente entre 50 -100 machacadoras y sin embargo reciclan en torno al 45% de los RCD.

d) **Italia e Irlanda** reciclan entre el 6 y el 9% de los RCD básicos y están impulsando el reciclaje de estos residuos.

e) Finalmente, **Portugal, Grecia y España** presentan una situación de reciclaje de RCD que puede calificarse de marginal

2.1.6. Normativa Técnica Internacional sobre el tema.

Después de hacer una búsqueda bibliográfica sobre la normativa técnica internacional que aborda el tema de los RCA se enumeran a continuación los países con su correspondiente normativa.

España:

-En noviembre de 2002 se estableció el Grupo de Trabajo “Hormigón Reciclado” a instancias de la Comisión Permanente del Hormigón y ACHE (Asociación Científico Técnica de Hormigón Estructural) para elaborar un documento que complementara a la reglamentación actual de hormigón estructural (Instrucción EHE). En el Anexo 15 de la EHE, se exponen las recomendaciones específicas sobre la utilización del árido reciclado procedente de concreto en hormigón estructural.

Además la utilización de árido reciclado procedente de hormigón en hormigón no estructural está incluida en el Anexo 18 de la EHE. RILEM (Unión Internacional de Laboratorios de Ensayos e Investigación sobre los Materiales y las Construcciones)

-RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures): "Specifications for Concrete with Recycled Aggregates". Materials and Structure, N° 27.p.p. 557-559, 1994.

Japón:

-"Proposed standard for the use of recycled aggregate and recycled". Building Contractors Society of Japan (BCS). 1977.

-"Proposed Recommended Practice for Design and Construction of Concrete Structures Made Using Recycled Aggregate". 1986.

-Proposed Specification for Concrete Containing Recycled Coarse Aggregate". 1996.

Bélgica:

-Vincke, J.; Rousseau, E.: "Recycling of Construction and Demolition Waste in Belgium: Actual Situation and Future Evolution". Demolition and Reuse of Concrete and Masonry. 1994.

Australia:

-Guía australiana para la utilización de árido reciclado (RCA) en hormigón. 1998.

Hong Kong:

-Recomendaciones BS 812. 2002.

Alemania:

-DIN 4226-1: 2000: Concrete Aggregate".

Reino Unido:

-BSG "Use of industrial by-products and waste materials in building engineering". British Standard Guide 6543. 1985.

- “Recycled Aggregates: BRE Digest 433” 1988.
- “Quality Control: The production of Recycled Aggregates. BR 392”. ISBN 186081 381 X.
- BS 8500-2: 2002: “Concrete-Complementary British Standard to BS EN 206-1. Part 2: Specifications for Constituent Materials and Concrete”.
- WRAP “Mix Design Specification for Low Strength Concretes Containing Recycled and Secondary Aggregates. 2002.

Brasil:

- “Recycled Aggregate Standardization in Brasil”. Universidade Estadual Paulista, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, Universidade de Taubaté. 2004.

Francia:

- Guide technique pour l' utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France: les bétons et produits de démolition recyclés-LCPC, Paris. Diciembre 1996.

Dinamarca:

- Danish Concrete Code. “Use of recycled demolition rubble”. 1989.
- Danish Concrete Association. “Recommendations for the use of recycled aggregates for concrete in passive environmental class”. Publicación N° 34, 1990.

Países Bajos:

- CUR report nr. 125 “Crushed Concrete Rubble and Masonry Rubble as Aggregate for Concrete”.

Austria:

- Austrian Quality Protection Association for Recycled Building Materials. “Guidelines for recycled building materials”. 1992.
- Guidelines for Recycled Construction Materials from Building Construction, Application Cement-bonded Substances.
- Guidelines for Recycled Construction Materials from Building Construction, Application Unbound Substances (Gutierrez, 2010) .

2.1.7. Propiedades tecnológicas de materiales

2.1.7.1. Materiales cementantes

Son aglomerantes que tienen las condiciones de adherencia y cohesión requeridas para unir piezas minerales entre sí, constituyendo una mezcla sólida heterogénea, de resistencia y durabilidad específicas. Son productos que fraguan y fortifican al reaccionar con el agua formando nuevos compuestos mediante reacciones de hidratación que tienen estabilidad al ser sumergidos y al aire.

Dentro de esta descripción, además de los cementos propiamente dichos, se encuentran materiales empleados con menos frecuencia como el carbonato de calcio, los asfaltos y los alquitranes.

Para producir hormigón estructural se utilizan únicamente los cementos hidráulicos (se emplea el agua para reaccionar químicamente y adquirir sus propiedades cementantes durante los procesos de endurecimiento inicial y fraguado). Por su uso extendido, resalta el cemento Portland, existiendo además los cementos naturales y los cementos con alto contenido de alúmina.

La obtención del cemento consiste, esencialmente en la trituración de los materiales crudos (calizas y arcillas); su mezcla en proporciones apropiadas; y su calcinación a una temperatura aproximada de 1400°C, dentro de un cilindro rotativo, lo que provoca una fusión parcial del material, conformándose bolas del producto llamadas clinker. El clinker es enfriado y luego es molido junto con el yeso hasta convertirlo en un polvo fino llamado cemento Portland (Romo, 2008, pág. 58).

Existen varios tipos y clases de cementos y cada uno de ellos tiene un uso determinado según las condiciones ambientales, y la durabilidad del hormigón se determina por los mismos.

- **Tipo I:** Cemento Portland ordinario, que es el de mayor utilización en el mercado. Se utiliza en hormigones normales que no estarán expuestos a sulfatos en el ambiente, en el suelo o en el agua del subsuelo.

- **Tipo II:** Son cementos con propiedades modificadas para cumplir propósitos especiales, como cementos antibacteriales que pueden usarse en piscinas; cementos hidrófobos que se deterioran muy poco en contacto con sustancias agresivas líquidas; cementos de albañilería que se emplean en la colocación de mampostería; cementos impermeabilizantes que se los utiliza en elementos estructurales en que se desea evitar las filtraciones de agua u otros fluidos, etc.
- **Tipo III:** Son cementos de fraguado rápido, que a menudo se utilizan en obras de hormigón que están en contacto con flujos de agua durante su construcción o en obras que pueden inestabilizarse rápidamente durante la construcción.
- **Tipo IV:** Son cementos de fraguado lento, que producen poco calor de hidratación. Se emplean en obras que contienen grandes volúmenes continuos de hormigón como las presas, permitiendo controlar el calor emitido durante el proceso de fraguado.
- **Tipo V:** Son cementos resistentes a los sulfatos que pueden estar presentes en los agregados del hormigón o en el propio medio ambiente. La presencia de sulfatos junto con otros tipos de cementos provoca la desintegración progresiva del hormigón y la destrucción de la estructura interna del material compuesto.

En nuestro medio se dispone permanentemente de cemento Portland tipo I y ocasionalmente de tipo IV para la ejecución de proyectos de uso masivo de hormigón. Otros tipos de cemento siempre requieren de importación.

El cemento utilizado en la fabricación de hormigón debe estar totalmente seco y suelto, y no debe presentar grumos de fraguado anticipado.

Para asegurar buenas condiciones en el cemento, debe ser almacenado en un sitio cubierto, seco, con ventilación apropiada que se puede conseguir mediante vigas de madera colocadas sobre el piso y un entablado superior que evite el contacto con el piso de los sacos de cemento colocados encima.

Los sacos de cemento no deben conformar pilas de más de 10 unidades de altura para evitar el fraguado por presión.

Deben proveerse mecanismos de almacenamiento que permitan la rotación adecuada del cemento, para conseguir que el producto más antiguo siempre esté accesible para su utilización inmediata, lo que se suele lograr mediante un apropiado diseño de la circulación dentro de la bodega.

Como alternativa puede utilizarse cemento a granel en lugar de cemento en sacos, el que debe ser almacenado en silos protegidos contra la humedad (silos herméticos). El cemento a granel puede llegar a ser entre un 20% y un 25% más económico que el cemento en saco, pero requiere de procesos de control de la cantidad de cemento empleada en obra.

2.1.7.2. Áridos

Las propiedades de los áridos deberán permitir alcanzar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón que con ellos se fabrica, así como otros requerimientos del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto.

En este sentido, los áridos no han reaccionar con el cemento, ni es posible que se descompongan por la influencia agentes del exterior que están presentes en la obra. Por tanto no deben evitarse tales como los procedentes de rocas blandas, friables, porosas, etc., ni los que contengan nódulos de yeso, compuestos ferrosos, sulfuros oxidables, etc.

Los sulfuros oxidables (por ejemplo, pirrotina, marcasita y algunas formas de pirita), aún en pequeña cantidad, resultan muy peligrosas para el hormigón, pues reaccionan con algunos de los productos de hidratación del cemento, con gran aumento de volumen.

Entre los ensayos que se realizan con los áridos, hay algunos de utilidad general; por ejemplo, el que sirve para determinar el contenido en materia orgánica, ya que ésta es siempre perjudicial para el fraguado y endurecimiento del hormigón. En otros ensayos, el resultado es interesante sólo en un cierto número de casos, ya que su finalidad consiste en dar un índice de comportamiento del material en circunstancias que, a pesar de ser relativamente frecuentes, no son comunes a todas las obras. Esto ocurre con la determinación de la pérdida de peso en solución de sulfato magnésico, cuyo principal objeto es conocer la resistencia frente a la helada del árido empleado en el hormigón.

Para la elaboración de hormigones de elevada resistencia se emplearán áridos con propiedades mecánicas idóneas, ya sean rodados o procedentes de rocas machacadas de altas prestaciones mecánicas. Los áridos más recomendables desde el punto de vista mineralógico son los basaltos, cuarcitas, riolitas, sienitas, ofitas y calizas de buena calidad, con densidades superiores a 2600 kg/m³.

Si se mezclan áridos de densidad variable, se deberá prestar atención evitando la segregación.

El tamaño máximo del árido grueso utilizado para la fabricación del hormigón será menor que las dimensiones siguientes:

a) 0,8 veces la distancia horizontal libre entre vainas o armaduras que no formen grupo, o entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo mayor que 45° con la dirección de hormigonado.

b) 1,25 veces la distancia entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo no mayor que 45° con la dirección de hormigonado.

c) 0,25 veces la dimensión mínima de la pieza, excepto en los casos siguientes:

- Losa superior de los forjados, donde el tamaño máximo del árido será menor que 0,4 veces el espesor mínimo.

- Piezas de ejecución delicada (caso de prefabricación en taller) y aquellos elementos en los que el efecto pared del encofrado sea reducido (forjados que se encofran por una sola cara), en cuyo caso será menor que 0,33 veces el espesor mínimo.

Forma del árido grueso.

La forma del árido grueso se expresará mediante el índice de partículas planas, entendido como el porcentaje en peso de áridos considerados como partículas planas y alargadas según la normativa, y su valor debe ser inferior a 35.

El empleo de áridos gruesos con formas inadecuadas dificulta extraordinariamente la obtención de buenas resistencias y exige una dosis excesiva de cemento. Para evitar la presencia de áridos con forma plana y aciculares en demasía, se establece la limitación al índice de partículas planas y alargadas.

Se encomienda el uso los áridos reciclados en hormigones estructurales en combinación con árido natural grueso, en un porcentaje máximo recomendable

del 20% de árido reciclado. Con estas limitaciones la peor calidad del árido reciclado apenas se afectará a las propiedades mecánicas del hormigón.

Requisitos físico-mecánicos.

Se cumplirán los siguientes límites:

– Resistencia a la fragmentación del árido grueso determinada con ajustes al método de ensayo (ensayo de Los Ángeles) ≤ 40

– Absorción humedad de los áridos, $\leq 7\%$

Teniendo en cuenta que la propiedad más desfavorable del árido reciclado es su absorción, para garantizar una buena calidad será necesario limitar al 7% esta característica en el árido reciclado.

Para la fabricación de hormigón en masa o armado, de resistencia característica especificada no superior a 30 MPa, podrán utilizarse áridos gruesos con una resistencia a la fragmentación entre 40 y 50 en el ensayo de Los Ángeles, si existe usanza previa en su uso y existen estudios experimentales del tema que avalen su utilización sin menoscabar de las prestaciones del hormigón.

El coeficiente de Los Ángeles de los áridos gruesos utilizados en la fabricación del hormigón se limita puesto que, a medida que aumenta este coeficiente, aumenta la deformación bajo carga del hormigón y puede disminuir la resistencia.

Cuando el hormigón esté sometido a una clase de exposición H o F y los áridos tengan una absorción de agua superior al 1%, estos deberán ostentar la pérdida de peso al ser sometidos a cinco lapsos de tratamiento con soluciones de sulfato magnésico que no superará el 18% en el caso del árido grueso.

Un resumen de las limitaciones de carácter cuantitativo se recoge en la tabla 5

Tabla 5: Cantidades máximas de áridos sustitutos según las propiedades del árido.

Propiedades del árido	Cantidad máxima en % del peso total de la muestra	
	Árido fino	Árido grueso
Absorción de agua en %	5%	5%
Resistencia a la fragmentación del árido grueso	-	40
Pérdida de peso % con cinco ciclos de sulfato de magnesio	-	18%

Fuente: (Oikonomou, 2005)

En los hormigones estructurales, los áridos o agregados ocupan alrededor de las tres cuartas partes del volumen total del hormigón; el volumen restante está constituido por pasta endurecida de cemento, agua sin combinar y burbujas de aire.

Mientras mayor sea el nivel de compactación del hormigón, mejor será su resistencia y más económica será su fabricación; por esta razón resulta importante cuidar la granulometría (tamaño de los granos y distribución estadística de esos tamaños de grano) de los áridos. También es importante que las características mecánicas de los áridos sean adecuadas y que los áridos estén libres de impurezas.

Los áridos naturales se clasifican en finos y gruesos. Los áridos finos o arenas pasan por el tamiz # 4. Los áridos gruesos no atraviesan el tamiz # 4 y se conocen como gravas (ripió en nuestro medio).

Los áridos gruesos presentan mejores propiedades de adherencia con la pasta de cemento cuando son triturados, lo que les dota de aristas (los áridos con superficie redondeada tienen menor adherencia).

Más del 75% del volumen del concreto está ocupado por los agregados, por lo que las propiedades de los mismos tienen influencia definitiva sobre el comportamiento del hormigón.

De acuerdo al tamaño de las partículas, los agregados se clasifican en agregados gruesos (tamaño mayor a 5 mm) y agregados finos (tamaño entre 75 mm y 5 mm).

Una buena graduación de los agregados da lugar a hormigones de mejores características y más económicos. Para conseguir una granulometría apropiada, se mezclan en proporciones adecuadas, al menos, dos tipos de agregados.

Los agregados pueden ser utilizados en su estado natural o pueden provenir de un proceso de trituración. El agregado grueso triturado presenta mejores características de adherencia que el agregado natural, por lo que sus hormigones pueden alcanzar mayor resistencia.

Los agregados deben estar libres de partículas orgánicas, sales, limos y arcillas que puedan afectar las reacciones químicas de fraguado o produzcan porosidades indeseables.

Dependiendo del tipo de hormigón que se desee fabricar, se pueden emplear agregados ligeros, agregados normales o agregados pesados. También pueden utilizarse agregados artificiales.

En la Tabla 6 aparecen indicadas las especificaciones que deben exigirse al árido reciclado y las que deben cumplir los áridos naturales.

Tabla 6: Especificaciones del árido reciclado y el árido natural

Propiedad	Árido reciclado	Árido natural	Límite árido mezcla (20% AR+80%AN)
Absorción	≤7%	≤4.5%	≤5%
Terrones de arcilla	≤0.6%	≤0.16%	≤0.25%
Impurezas			
Ladrillo	≤5%	-	≤1%
Asfalto	≤1%	-	≤0.2%
Otras impurezas (plásticos, vidrios, papel, etc)	≤1%	-	≤0.2%
Porcentaje de arena (<4mm)	≤7.5%	≤4.4%	5%

Fuente: (Oikonomou, 2005)

Los requisitos que no aparecen en la tabla anterior y que se exigen de forma habitual a los áridos naturales serán los mismos para el árido reciclado que los recogidos en la normativa de aplicación (Instrucción EHE para el caso español). Esto perturba a propiedades como el coeficiente de los Ángeles, coeficiente de forma o los análisis químicos.

2.1.8. Influencia del árido reciclado en las propiedades del hormigón estructural

La calidad del árido reciclado se relaciona con la calidad del hormigón, siendo el módulo de elasticidad, la retracción y la fluencia, las propiedades que más se afectan, tanto más cuanto mayor es la resistencia del hormigón reciclado. Por esta razón, resulta conveniente poner límites a la resistencia máxima admisible del hormigón reciclado. Los resultados alcanzados indican que la pérdida de capacidad mecánica del hormigón reciclado hasta 50 MPa es menor especialmente si se utilizan porcentajes de árido reciclado hasta el 20%. Los áridos reciclados no deben por tanto ser utilizados en la fabricación de hormigones de alta resistencia.

Los coeficientes de paso que habría que utilizar para el cálculo de las propiedades mecánicas del hormigón reciclado están recogidos en la Tabla 7.

Tabla 7: Coeficientes de corrección para el hormigón reciclado.

Propiedad	Coeficiente de corrección ($f_{cm} \leq 50 \text{ N/mm}^2$)		
	20% árido reciclado	50% árido reciclado	100% árido reciclado
Módulo de elasticidad estático	0,90	0,80	0,63
Módulo de elasticidad dinámico	0,98	0,93	0,87
Resistencia a tracción	1,0		1,0
Retracción	1,0		1,56

Fuente: (Oikonomou, 2005)

2.1.8.1. Agua

El agua, considerada como materia prima para la confección y el curado del hormigón debe cumplir con determinadas normas de calidad. Las normas para la calidad del agua son variables de país a país, y también pueden tener alguna variación según el tipo de cemento que se quiera mezclar.

Las normas que se detallan a continuación son por lo tanto generales. Esta deberá ser limpia y fresca hasta donde sea posible y no deberá contener residuos de aceites, ácidos, sulfatos de magnesio, sodio y calcio (llamados álcalis blandos) sales, limo, materias orgánicas u otras sustancias dañinas y estará asimismo exenta de arcilla, lodo y algas.

Los límites máximos permisibles de concentración de sustancias en el agua son los siguientes:

Tabla 8: Niveles de concentraciones de sustancias en agua

Sustancias y Ph	Límite máximo
Cloruros.	300 ppm
Sulfatos.	200 ppm
Sales de magnesio.	125 ppm
Sales solubles.	300 ppm
Sólidos en suspensión.	10 ppm
Materia orgánica expresada en oxígeno consumido.	0.001 ppm
Ph.	6 < pH < 8

Fuente: Elaboración Propia

2.1.8.2 Aditivos.

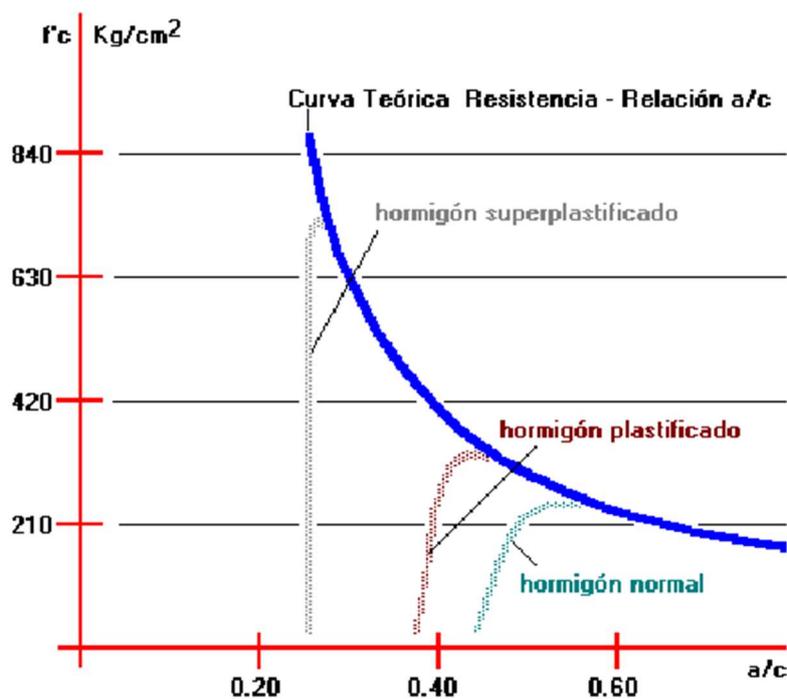
Existen aditivos químicos que, en proporciones adecuadas, cambian y mejoran las características del hormigón fresco, del hormigón endurecido y del proceso de fraguado.

Los aditivos plastificantes son los más utilizados en nuestro medio, y permiten que la laborabilidad del hormigón fresco mejore considerablemente, por lo que se los suele utilizar en hormigones que van a ser bombeados y en hormigones que van a ser empleados en zonas de alta concentración de armadura de hierro. Estos mismos aditivos pueden conseguir que, manteniendo la

laborabilidad de un hormigón normal, se reduzca la cantidad de agua de amasado mejorando con ello la resistencia del hormigón.

Existen aditivos superplastificantes (también se los conoce en el mercado como reductores de agua de alto rango) que pueden convertir a un hormigón normal en un hormigón fluido, que no requiere de vibración para llenar todos los espacios de las formaletas, inclusive en sitios de difícil acceso para el hormigón. Así mismo, si se mantiene una laborabilidad normal, estos aditivos permiten la reducción de la relación agua/cemento hasta valores cercanos a 0.30, consiguiéndose hormigones de mediana resistencia (entre 350 Kg/cm² y 420 Kg/cm²) y hormigones de alta resistencia (mayores a 420 Kg/cm²).

Gráfico 2: Resistencia del Hormigón



Fuente: (Romo, Hormigon Armado, 2008)

Los aditivos acelerantes permiten que el endurecimiento y fraguado de los hormigones se produzca más rápidamente en la fase inicial. Usualmente se los emplea cuando se desea desencofrar en menor tiempo las formaletas. Un efecto

similar puede obtenerse utilizando cementos de fraguado rápido o mediante un proceso de curado con vapor de agua circulante.

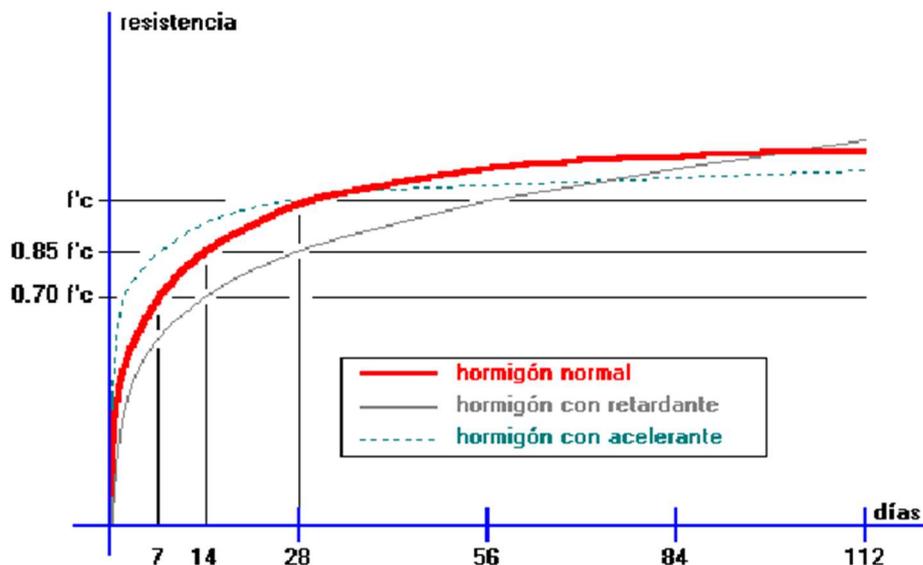
Existen aditivos de fraguado extra rápido que se emplean en casos en que se requiera un endurecimiento y fraguado del hormigón en pocos minutos, como en la fundición de elementos dentro de cauces de ríos, en el mar o en túneles.

Los aditivos retardadores retrasan el endurecimiento inicial del hormigón, manteniendo por más tiempo su consistencia plástica. Se los suele utilizar en climas cálidos para evitar el fraguado anticipado por evaporación del agua de amasado, y en obras masivas de hormigón en que se quiere controlar la cantidad de calor emitida por el proceso de fraguado.

La aceleración o desaceleración del proceso de fraguado mediante aditivos o mediante cementos apropiados, a más de afectar la velocidad de obtención de resistencia del hormigón a corto plazo, tiene efecto sobre la resistencia del hormigón a largo plazo.

La aceleración inicial del proceso conduce a resistencias menores a largo plazo, pues el agua de curado tiene menor nivel de penetración por el endurecimiento del hormigón.

Gráfico 3: Comparación de resistencia del Hormigón



Fuente: (Romo, Hormigón Armado, 2008)

La desaceleración inicial del proceso determina resistencias mayores a largo plazo, pues el curado se vuelve más eficiente.

Hay aditivos introductores de aire que producen burbujas de aire dentro del hormigón, los que se utilizan en estructuras que están sometidas a procesos de congelamiento y descongelamiento periódico, poco frecuentes en nuestro medio. Los introductores de aire tienen como efecto colateral la disminución de la resistencia del hormigón aproximadamente en un 5% por cada 1% de burbujas de aire introducidas.

Existen sustancias especiales, como la ceniza volcánica pulverizada (fly ash) o la cáscara de arroz quemada y pulverizada, que por su composición química apropiada y por su granulometría aún más pequeña que la del cemento, mejoran la resistencia del hormigón a largo plazo.

El uso de aditivos requiere de mezclas de prueba en laboratorio o en obra, antes de ser utilizados en las estructuras, porque ocasionalmente pueden provocar reacciones indeseables con ciertos tipos de cemento y con otros aditivos.

2.1.9. Propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido

2.1.9.1. Propiedades principales del hormigón en estado fresco

En estado fresco, el hormigón presenta las siguientes propiedades: la laborabilidad, determinada por los índices de estabilidad, compactabilidad y movilidad de la mezcla, la segregación, la exudación y la contracción, las cuales se explican a continuación:

Laborabilidad.

Definida por una mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación y determinación es relativa, ya que depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede ser laborable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal para otras condiciones.

La misma está influenciada principalmente por la pasta, su contenido de agua y el equilibrio perfecto entre gruesos y finos, que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa.

Generalmente un hormigón es laborable en la mayoría de las circunstancias, cuando al desplazarse mantiene siempre una película de mortero de al menos $\frac{1}{4}$ " sobre el agregado grueso.

Tradicionalmente el método de medir la laborabilidad ha sido el "Slump" o asentamiento con el cono de Abrams, el cual permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto. Sin embargo esta es más una prueba de uniformidad que de laborabilidad, pues es fácilmente demostrable que, para las mismas condiciones de trabajo, pueden obtenerse concretos con igual slump pero laborabilidades notablemente diferentes.

Una práctica recomendada por el U.S. Bureau of Reclamation (Ref. 7.1), consiste en que una vez concluida la determinación del slump se procede a golpear con la varilla la plancha metálica de base, provocando el desmoronamiento del concreto lo que permite una estimación visual de la capacidad de acomodo al compactarlo.

Cuando en obra se controla la dosificación de las mezclas en peso por lo que hay seguridad que se están midiendo los ingredientes de acuerdo al diseño y corrigiendo por absorción y humedad, un slump mayor del que se venía registrando, es indicativo de que la granulometría total se ha vuelto más gruesa, en consecuencia el Módulo de fineza se incrementó y disminuyó la superficie específica pero todo esto sin cambiar la relación Agua/Cemento.

En consecuencia el slump aumentó no porque se ha añadido más agua al diseño sino porque la mezcla requiere menos agua debido a cambios en la gradación de los agregados que la ha vuelto más gruesa.

En estas situaciones, no tiene fundamento técnico el rechazar el concreto en base a la prueba de slump, pues si la dosificación está controlada, se está demostrando que no se afectará la resistencia.

Ahora bien, si el slump que tiene actualmente la mezcla es tan alto que ocasiona problemas de segregación ó exudación, es necesario reajustar la granulometría total recalculando las proporciones de arena y piedra (subiendo el contenido de arena y bajando el de la piedra) para mantener constante el módulo

de fineza total del diseño y regresar al slump original, pero nunca se debe empezar a bajar agua aleatoriamente pues esa es la mejor manera de perder el control del diseño ya que no estamos atacando el problema de fondo que es la gradación.

Si se da el caso contrario de que el slump se redujo pese a estar controlada la dosificación, es indicativo de que la granulometría total cambió volviéndose más fina por lo que la mezcla requiere más agua y se seca.

La forma de corregir esto es hacer lo inverso al caso anterior incrementando la proporción de piedra y disminuyendo la de la arena para mantener constante el módulo de fineza de diseño.

Para lograr una mayor aproximación a la laborabilidad, la Reología, que es la ciencia que estudia el flujo o desplazamiento de los materiales, ha establecido los siguientes conceptos que permiten enfocar con más precisión el comportamiento reológico del concreto en estado fresco y por consiguiente su laborabilidad: (Ref. 7.2)

1) Estabilidad.

Es el desplazamiento o flujo que se produce en el concreto sin mediar la aplicación de fuerzas externas.

Se cuantifica por medio de la exudación y la segregación, evaluada con métodos standard que permiten comparar dichas características entre varios diseños, siendo obvio que se debe buscar obtener los valores mínimos.

Es interesante notar que ambos fenómenos no dependen expresamente del exceso de agua en la mezcla sino del contenido de finos y de las propiedades adherentes de la pasta.

2) Compactibilidad.

Es la medida de la facilidad con que puede compactarse el concreto fresco. Existen varios métodos que establecen el denominado "Factor de compactación", que evalúa la cantidad de trabajo que se necesita para la

compactación total, y que consiste en el cociente entre la densidad suelta del concreto en la prueba, dividido entre la densidad del concreto compactado.

En nuestro medio no es usual disponer del equipo para la prueba standard que es Británica (Ref. 7.3), no obstante no es muy difícil ni caro implementarlo ya que es muy útil en cuanto a la información que suministra.

La prueba consiste en llenar el cono superior con concreto depositándolo sin dejarlo caer, para que no haya compactación adicional.

A continuación se abre la compuerta inferior para que caiga por su peso propio y llene el segundo cono con lo que se estandariza la condición de compactación inicial.

Finalmente luego de enrasar el cono se abre la segunda compuerta y el concreto cae por su peso propio para llenar un molde cilíndrico estándar.

Se obtiene el peso unitario del concreto en el molde y el valor se divide entre el peso unitario obtenido con la prueba estándar en tres capas con 25 golpes cada una.

Esta operación debe hacerla una sola persona manteniendo constantes el equipo para el manipuleo y el procedimiento, ya que los resultados están influenciados significativamente por estos aspectos. Hay que tener claro que los valores obtenidos nos sirven para comparar diseños similares para elegir el óptimo, pero no nos da un valor absoluto para comparar diseños con materiales diferentes.

En la medida que el factor de compactación se acerque más a la unidad obtendremos el diseño más eficiente en cuanto a la compactabilidad.

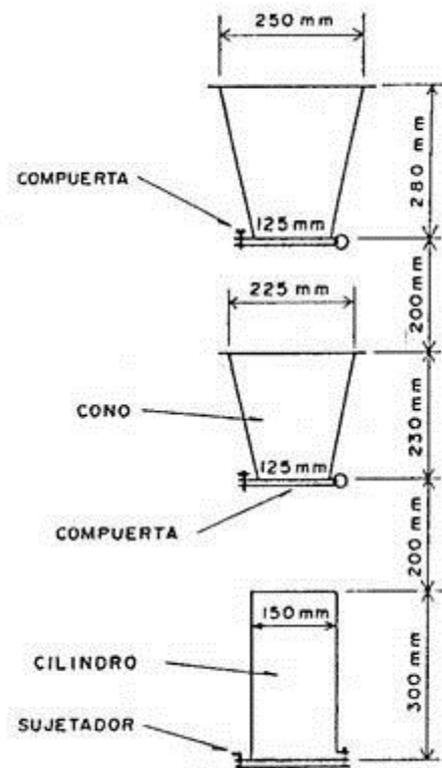
En la Tabla 7.1 se pueden observar valores de revenimiento o slump comparados con mediciones de factor de compactación para diferentes condiciones de trabajabilidad.

De nuestra experiencia personal en el uso del método estándar hemos concluido en que es sumamente útil para discriminar entre mezclas con grados de compactabilidad bastante diferentes, sin embargo no es muy sensible a pequeños cambios en granulometría. En base a esto estamos desarrollando una alternativa en la cual cambiamos el molde cilíndrico por un molde prismático de 0.20 x 0.20 x 0.30 m que representa más fielmente las dificultades reales en cuanto a

compactibilidad en las esquinas de los encofrados. Aún no contamos con suficiente cantidad de pruebas para establecer conclusiones estadísticas válidas pero las tendencias indican que con esta variante se podría reflejar variaciones pequeñas en gradación o en las consecuencias del empleo de aditivos plastificantes.

En el gráfico 4 se dan las características geométricas del aparato para quien le interesara fabricarlo y usarlo.

Gráfico 4: Características del equipo para medir factor de compactación



Fuente: (Romo, Hormigon Armado, 2008)

Tabla 9: Laborabilidad, retracción y factor de compactación en concretos con tamaño máximo agregado de 19 a 38 mm (3/4 ó 1 1/2 pulg.)

GRADO DE LABORABILIDAD	RETRACCIÓN mm. pulg.		FACT. COMPACTACIÓN		USO ADECUADO DEL CONCRETO
			APARATO PEQUEÑO	APARATO GRANDE	
					Pavimentos vibrados con máquinas operadas mecánicamente.

GRADO DE LABORABILIDAD	RETRACCIÓN mm. pulg.		FACT. COMPACTACIÓN		USO ADECUADO DEL CONCRETO
			APARATO PEQUEÑO	APARATO GRANDE	
Muy pequeño	0 – 25	0 – 1	0.78	0.80	En el extremo más trabajable de este grupo, el concreto podrá compactarse en ciertos casos con máquinas operadas a mano.
Pequeño	25 – 50	1 – 2	0.85	0.87	Pavimentos vibrados con máquinas operadoras a mano. En el extremo más trabajable de este grupo, el concreto podrá compactarse mensualmente en pavimentos que empleen agregado de forma redonda o irregular. Cimentaciones de concreto en masa sin vibrado o secciones con poco refuerzo y vibradas.
					En el extremo menos trabajable de este grupo, losas planas compactadas manualmente usando agregados triturados.
Medio	50 – 100	2 – 4	0.82	0.835	Para secciones congestionadas de refuerzo. Normalmente no adecuado para vibrarse. Concreto reforzado manualmente compactado y secciones con mucho refuerzo compactado con vibración.
Alto	100 - 175	4 - 7	0.85	0.88	

Fuente: (Romo, Hormigon Armado, 2008)

3) Movilidad.

Es la facilidad del concreto a ser desplazado mediante la aplicación de trabajo externo. Se evalúan en función de la viscosidad, cohesión y resistencia interna al corte.

La viscosidad viene dada por la fricción entre las capas de la pasta de cemento, la cohesión es la fuerza de adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, y la resistencia interna al corte la provee la habilidad de las partículas de agregados a rotar y desplazarse dentro de la pasta.

Las pruebas desarrolladas en la actualidad para medir estos parámetros sólo son aplicables a nivel sofisticado en laboratorio (Ref. 7.4 y 7.5) por lo que aún está a nivel de investigación una prueba práctica para emplearse en obra, sin embargo, es importante al momento de diseñar y comparar mezcla, realizar una evaluación al menos cualitativa de estos parámetros, con objeto de acercarnos al óptimo.

b) Segregación.

Las diferencia de densidades entre los componentes del concreto provocan una tendencia natural a que las partículas más pesadas desciendan, pero en general, la densidad de la pasta con los agregados finos es sólo un 20% menor que la de los gruesos (para agregados normales) lo cual sumado a su viscosidad produce que el agregado grueso quede suspendido e inmerso en la matriz.

Cuando la viscosidad del mortero se reduce por insuficiente concentración la pasta, mala distribución de las partículas o granulometría deficiente, las partículas gruesas se separan del mortero y se produce lo que se conoce como segregación. En los concretos con contenidos de piedra > del 55% en peso con respecto al peso total de agregados, es frecuente confundir la segregación con la apariencia normal de estos concretos, lo cual es muy simple de verificar obteniendo dos muestras de concreto fresco de sitios diferentes y comparar el contenido de gruesos por lavado, que no deben diferir en más de 6%.

c) **Exudación.**

Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto.

Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades.

Está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de este y mayor es el porcentaje de material menor que la malla N° 100, la exudación será menor pues se retiene el agua de mezcla.

La exudación tiene lugar en el concreto al formar parte de su estructura. Por ello, es importante controlar los efectos negativos que pudiera generar. No debe caerse en el error de considerar que la exudación es una condición anormal del concreto, ni en la práctica usual de “secar” el concreto espolvoreando cemento en la superficie ya que si esto se ejecuta mientras aún hay exudación, se crea una capa superficial muy delgada de pasta que en la parte inferior tiene una interfase de agua que la aísla de la masa original. En estas condiciones, al producirse la contracción por secado o cambios volumétricos por temperatura esta película delgada de pasta se agrieta, produciéndose el patrón de fisuración tipo panal de abeja, que los norteamericanos denominan “crazing”.

Si se espolvorea cemento cuando la exudación ha terminado, integrado la pasta con la mezcla original se logra reducir la relación Agua/Cemento en la superficie con resultados positivos en cuanto a durabilidad al desgaste.

La prueba estándar para medir la exudación está definida por la norma ASTM C – 232 (Ref. 7.6) necesitándose sólo una pipeta como equipo adicional a las balanzas, moldes y probetas graduadas que constituyen lo normal en laboratorio.

d) Contracción.

Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia.

Ya hemos visto que la pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción del volumen original de agua por combinación química, y a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible.

Pero además existe otro tipo de contracción inherente también a la pasta de cemento y es la llamada contracción por secado, que es la responsable de la mayor parte de los problemas de fisuración, dado que ocurre tanto en el estado plástico como en el endurecido si se permite la pérdida de agua en la mezcla.

Este proceso no es irreversible, ya que si se repone el agua perdida por secado, se recupera gran parte de la contracción acaecida.

Esta propiedad se tratará con mucha amplitud al tocar el tema de los cambios volumétricos en el concreto, siendo lo fundamental en este Capítulo, el tener claro que el concreto de todas maneras se contrae y si no tomamos las medidas adecuadas indefectiblemente se fisura, y en muchos casos esta fisuración es inevitable por lo que sólo resta prevenirla y orientarla.

Propiedades principales del hormigón en estado endurecido.

a) Elasticidad.

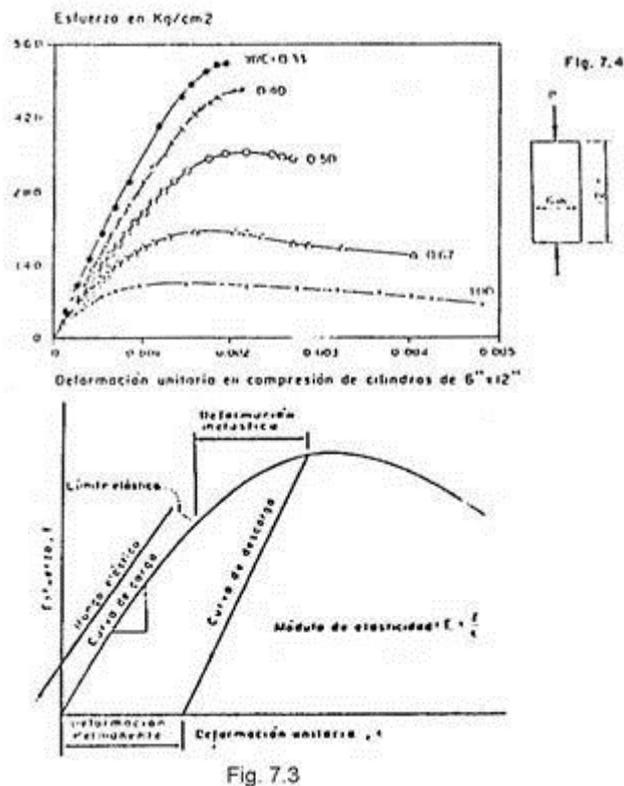
En general, es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente.

El concreto no es un material elástico estrictamente hablando, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs deformación en compresión, sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un "Módulo de elasticidad estático" del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un % de la tensión última (Ref. 7.7).

Los módulos de Elasticidad normales oscilan entre 250,000 a 350,000 kg/cm² y están en relación inversa con la relación Agua/Cemento.

Conceptualmente, las mezclas más ricas tienen módulos de Elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres. La norma que establece como determinar el Módulo de elasticidad estático del concreto es la ASTM C- 469 (Ref. 7.7).

Gráfico 5: Curva carga vs deformación típica del concreto



Fuente: (Romo, Hormigon Armado, 2008)

b) Resistencia.

Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento.

Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación Agua/Cemento en peso.

La afectan además los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta, como son la temperatura y el tiempo, aunados a otros elementos adicionales constituidos por el tipo y características resistentes del cemento en particular que se use y de la calidad de los agregados, que complementan la estructura del concreto.

Un factor indirecto pero no por eso menos importante en la resistencia, lo constituye el curado ya que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual no se llegan a desarrollar completamente las características resistentes del concreto.

Los concretos normales usualmente tienen resistencias en compresión del orden de 100 a 400 kg/cm², habiéndose logrado optimizaciones de diseños sin aditivos que han permitido obtener resistencia sobre 700 kg/cm².

Tecnologías con empleo de los llamados polímeros, constituidos por aglomerantes sintéticos que se añaden a la mezcla, permiten obtener resistencias en compresión que bordean los 1,500 kg/cm², y todo parece indicar que el desarrollo de estas técnicas permitirá en el futuro superar incluso estos niveles de resistencia.

Ilustración 2: Ejemplo de polímetro



Fuente: Josué Bolaños

Ilustración 3: Ejemplo de cargas rotura

TC	EDAD	
	7	28
	Mpa	
140	9,19	13,73
180	11,82	17,64
210	13,79	20,59
240	15,76	23,52
280	18,39	27,45
350	22,99	34,31

Fuente: Josué Bolaños

c) Extensibilidad.

Es la propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran fisuraciones.

Depende de la elasticidad y del denominado flujo plástico, constituido por la deformación que tiene el concreto bajo carga constante en el tiempo.

El flujo plástico tiene la particularidad de ser parcialmente recuperable, estando relacionado también con la contracción, pese a ser dos fenómenos nominalmente independientes.

La microfisuración aparece normalmente alrededor del 60% del esfuerzo último, y a una deformación unitaria de 0.0012, y en condiciones normales la fisuración visible aparece para 0.003 de deformación unitaria.

2.1.9.1 Construir de forma sostenible. Significado

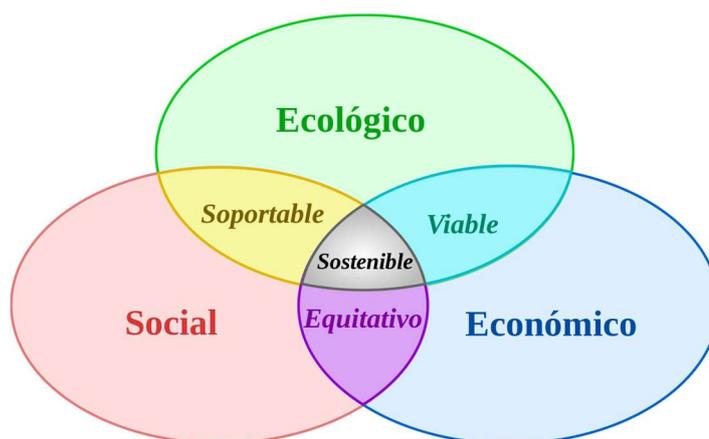
Para comprender el significado de construcción o edificación sostenible es necesario conocer primeramente las premisas que caracterizan el concepto global del cual se deriva dicha tendencia: el **desarrollo sostenible**.

Premisas fundamentales del **desarrollo sostenible**:

- Rehabilita los ecosistemas afectados.
- Trata de que la actividad económica conserve o renueve el sistema ambiental.
- Se cerciora que la actividad económica mejore la calidad de vida de la generalidad y no de una minoría.
- Maneja los recursos eficientemente.
- Promueve al máximo el reciclaje y la reutilización.
- Alienta y propone la implantación y el desarrollo de tecnologías limpias.
- Aboga por la autosuficiencia regional.
- La naturaleza como un recurso que tributa al bienestar humano.

Dichas premisas se resumen de forma general en el siguiente gráfico:

Ilustración 4: Premisas para el desarrollo sostenible



Fuente: <http://mind42.com/mindmap/9035049b-12ce-4ba5-a8af-e9fe186e9491?rel=gallery>

Consecuentemente con dichas premisas, la edificación o construcción sostenible es aquella que minimiza el impacto ambiental de todos los procesos implicados en su ciclo de vida, desde los materiales que la conforman en el momento de su fabricación y las técnicas de construcción empleadas como

de su ubicación. Además, tiene en cuenta su impacto sobre el entorno, el consumo energético, así como el reciclaje de los desechos y de los materiales cuando el edificio haya cumplido su función y se demuela, todo ello con el objetivo de minimizar el impacto ambiental que pueda producirse en cada una de las fases.

De este modo, una **construcción sostenible** deberá impulsar:

- La disminución en el empleo de los recursos: mediante el reciclaje, la reutilización, y el uso eficiente de recursos renovables y no renovables.
- Debe implicarse además, en la conservación de la biodiversidad y de las áreas naturales mediante la limitación en el uso del terreno, una disminución de la fragmentación y la prevención de emisiones tóxicas.
- La preservación de un ambiente interior saludable y de la calidad de los ambientes urbanizados se llevará a cabo mediante el uso de materiales con bajas emisiones tóxicas, la afinidad con las necesidades de los habitantes, una positiva ventilación, previsiones de transporte, seguridad y mengua de contaminación, ruidos y olores.

En el proceso de construcción sostenible, tanto los promotores inmobiliarios como los constructores tienen un papel fundamental ya que de ellos depende esencialmente el diseño de la obra y su construcción. Como máximos entes responsables deberán marcar las pautas, elegir al personal comprometido con el diseño y a los prescriptores de la obra. Su compromiso es primordial para realizar transformaciones en los modelos y la gestión de la obra teniendo en cuenta además las nuevas normativas de diseño, así como tecnologías más novedosas y eficientes en las nuevas edificaciones.

Positivas exigencias en temas de aislamiento, instalaciones de calefacción, iluminación eficiente e instalaciones de energía solar y aire acondicionado se establecen en El Código Técnico de la Edificación. Su objetivo principal es disminuir a límites admisibles el consumo de energía de los edificios implementando fuentes renovables en buena parte de dicho consumo.

En la actualidad desde **Ihobe** (Sociedad pública de gestión ambiental del gobierno vasco) se está trabajando arduamente en este campo. Durante el año

2010 fueron publicadas las siguientes Guías Sectoriales de Edificación Sostenible en formato DVD:

- Guía de Edificios Comerciales.
- Guía de Edificios Administrativos o de Oficinas.
- Guía de Edificios Industriales.
- Guía de Sistemas de evaluación de la sostenibilidad en la edificación.

La normativa concerniente a la edificación y la construcción está siendo actualizada en los últimos años, con el objetivo de lograr un mejor comportamiento ambiental de los edificios: gestión y tratamiento de los restos de construcción y demolición, aumento del rendimiento de las instalaciones, restricción de la demanda energética, introducción de energías renovables en la edificación, eficiencia energética en alumbrado exterior, etc. Dichas guías acopian una amplia cantidad de buenas prácticas aplicables a edificios administrativos y de oficinas a lo largo de todo su ciclo de vida y forma parte del compendio de guías sobre Edificación Sostenible. Didácticamente, muestra una serie de recomendaciones a implementar en sus proyectos de edificación a los agentes implicados en el diseño, construcción y mantenimiento de edificios con el fin de favorecer su sostenibilidad medioambiental.

Estos trabajos perseguirán perspectivas y organizaciones similares a lo referido en 2005 en la Guía de Edificación Sostenible para la Vivienda en la Comunidad Autónoma, editada entre el Departamento de Vivienda y Asuntos Sociales del gobierno Vasco, el EVE y las sociedades públicas VISESA, ORUBIDE e IHOBE. Dicha publicación, incluyendo también la rehabilitación: Guía de Edificación y Rehabilitación Sostenible para la Vivienda en la Comunidad, fue revisada en el año 2011.

El Decreto 240/2011, recientemente aprobado, regula la certificación de la eficiencia energética de los edificios de nueva construcción. Precedentemente, el Real Decreto 47/2007, por el que se decreta el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética en edificaciones de nueva construcción, añade al ordenamiento interno temas imprescindibles de la Directiva Europea precisando, en concordancia con ella, el contenido del referido procedimiento con el objetivo de promover la eficiencia energética, mediante la información

objetiva que necesariamente ha de proporcionarse a compradores y consumidores en relación con las particularidades energéticas de los edificios, plasmadas de manera que permita apreciar y contrastar sus prestaciones en forma de un Certificado de Eficiencia Energética, con la finalidad de estimular y fomentar la construcción de edificios de alta eficiencia energética y las inversiones en ahorro de energía.

Igualmente a como se estipula en el Real Decreto, pertenece a las Comunidades Autónomas, llevar a cabo una serie de funciones aplicadas a asegurar la certeza y corrección de los Certificados de Eficiencia Energética con un núcleo conformado por el examen y la inspección externa de los mismos así como por las precauciones que certifiquen el cumplimiento de las obligaciones impuestas a las personas promotoras o propietarias de someter a certificación de eficiencia energética los inmuebles de nueva construcción, independientemente de su función, así como su transformación y reajuste y la exposición de la Etiqueta de Eficiencia Energética en las edificaciones.

El antedicho Decreto 240/2011 reglamenta la recepción, registro, reforma, reajuste, fiscalización y control externo de los Certificados de Eficiencia Energética, tanto de proyectos como de obras terminadas, su reflejo en las Etiquetas de Eficiencia Energética, el empleo de las mismas y la información que, sobre este tema, el vendedor debe facilitar al futuro propietario, con el objetivo de proteger los derechos de los usuarios o consumidores.

2.1.9.2 Ejemplos de Edificación sostenible

En una investigación realizada en mayo de 2006, por el estudio de arquitectura Gop, a promotores y constructores en España, se obtuvo como resultado que:

- El 75% de los encuestados ha iniciado a promocionar viviendas bioclimáticas.
- El 66,7% atestiguan que el ahorro energético es la ventaja más apreciada por los consumidores al hablar de este tipo de construcción.
- Un 50% opina que la vivienda bioclimática puede revalorizarse en el futuro en el mercado de segunda mano.

- EL 60% imagina que en 10 años, parte de los requisitos de una vivienda bioclimática integrarán más de la mitad de las promociones.
- El 80% de las inmobiliarias visitadas ya promueven viviendas bioclimáticas. Sólo un 13 % tiene menos del año de experiencia.
- El 100% de los constructores planean aplicar este tipo de construcción en la década siguiente, de ellos un 40% antes de los próximos 5 años.

Algunos ejemplos de este tipo de construcciones existen en Bizkaia (País Vasco), España:

Bilbao, capital de Bizkaia (Foto 1.1.a):

Ampliación y rehabilitación de la vieja fábrica de Harino Panadera, con un edificio adjunto, ubicada en Irala, en un barrio del propio Bilbao. La ejecución del proyecto estuvo a cargo de ONEKA ARQUITECTURA, S.L.

Los aspectos ambientales más remarcados por el proyecto se señalan como los siguientes:

- Disminución del consumo energético del inmueble.
- Mitigación del ruido emitido tanto entre los diferentes espacios internos como hacia el exterior del edificio.
- Disminución de la utilización del recurso hídrico a lo largo del ciclo de vida del inmueble.
- Empleo justo de los materiales necesarios para la construcción del inmueble.

Los siguientes aspectos demuestran las ventajas de la utilización del Ecodiseño en la fase de proyecto:

- Disminución del consumo energético del edificio en cerca de un tercio del consumo habitual.
- Rebaja de las emisiones de ruido aumentando el confort para los habitantes del inmueble.
- Ahorro en más de un 35% del consumo de agua sobre el pronosticado.

El barrio bilbaíno de Zorroza cuenta, desde el 2010, con 84 hogares VPO ecosostenibles. Dichas viviendas añadirán medidas pasivas y activas para economizar energía, como la doble orientación de las casas, es uso de ventilación natural y el empleo de materiales que mejoran su comportamiento acústico y térmico.

En este lugar se edificaron 55 viviendas de VPO patrocinadas por VISESA (Sociedad Promotora de Vivienda Pública del Gobierno Vasco) y construidas por BIKANI. Luz y Espacio Arquitectos fue la compañía encargada de concebir el proyecto.

Algunas de las características de las viviendas son:

- Adaptación a diferentes dimensiones y características según las particularidades de sus usuarios, algunas adecuadas incluso a personas discapacitadas.
- Agua sanitaria precalentada mediante el uso de paneles solares.
- Calefacción a través de una caldera centralizada de gas natural, agua con calentadores individuales y termostato para regular la temperatura.
- Caudal regulado por grifería monomando.
- Poseen el certificado de eficiencia energética Tipo A, (la más elevada categoría entre las existentes de ese tipo) otorgado por el CADEM, por consumir la mitad de recursos que un proyecto convencional semejante.
- Ventilación cruzada con renovación del aire favorecido por un diseño bioclimático con doble orientación.
- Las cocinas contienen equipos electrodomésticos que presentan bajo consumo.

Ilustración 5: Foto1. Aplicación y rehabilitación de una vieja fábrica de Harino-Panadera, con el edificio adjunto, Irala, Bilbao. Foto 2. Viviendas de VPO patrocinadas por VISESA



Fuente: Premio Isover 2011, disponible en: <http://tectonicablog.com/?p=30475>

2.1.9.3 Medidas para lograr una Edificación Sostenible

En un futuro próximo, con el empleo adecuado del Código Técnico de la Edificación las viviendas serán, sin lugar a dudas, más sostenibles, pero aun así estas acciones no serán suficientes, por lo que se deberán añadir otras de manera ventajosa si se pretende avanzar verdaderamente en materia de edificación sostenible.

- **Localización y primeras consideraciones.**

El proceso constructivo sostenible debe iniciar por una planificación urbanística coherente, sin la presencia de un arreglo adecuado se dificultan las acciones posteriores para poder estamparles como sostenibles.

Favorecer la recuperación de los sectores antiguos de las ciudades renunciando a la residencia aislada con extensiones de terreno retirada de la zona urbanizada (ciudad difusa), el aumento de la densidad poblacional con el empleo de la vivienda (ciudad compacta) son el comienzo del camino hacia un modelo de urbanismo sostenible.

La ciudad compacta aproxima la vivienda de las zonas más alejadas a las actividades afines entre ellas como por ejemplo el lugar de trabajo y los servicios públicos. Esta proximidad permite la implementación de un sistema de transporte

público más eficaz que en áreas de población dispersa. La gran meta es convertir la urbe compacta en un espacio interesante para la vida, para la socialización, donde el ciudadano no busque exasperadamente un hogar unifamiliar con jardín individual.

Siempre es más viable, desde la perspectiva económica, social y medioambiental, invertir, rehabilitar y reformar edificios existentes antes que construir edificaciones totalmente nuevas.

En la rehabilitación de un edificio habitacional, a pesar de sustituir toda la carpintería, dotarlo de aislamientos y cambiarle la totalidad de las instalaciones, puede llegar a alcanzarse un ahorro aproximadamente del 60% con respecto a la edificación de otro nuevo.

Además de lo anteriormente expuesto, el diseño del inmueble o la elección de su localización deben ser coherentes con las necesidades de las personas que lo habitarán, considerando los siguientes criterios:

- Impulsar la accesibilidad
 - Favorecer espacios apartados o resguardados de fuentes de ruidos y contaminación, preservando en lo posible hábitats de interés o zonas de especial protección ambiental.
 - Juzgar la buena comunicación o la proximidad a zonas de servicios, sin mediar medios de transporte o mediante el uso del sistema público de transporte.
 - Personalizar los diseños de vivienda y proponerlos según los perfiles de las familias y el número de habitantes que la ocuparán: para un solo miembro, para una familia monoparental, para una familia nuclear etc.
-
- **Diseño bioclimático.**

Una edificación diseñada bioclimáticamente es aquella cuyo diseño aprovecha las características climáticas de su medio y a su vez la resguarda de las condiciones adversas. Esta tipología de diseño brinda el confort adecuado a la vez que consume una baja cuantía energética, por lo que genera una menor contaminación. De ser aplicadas desde un inicio, las medidas de diseño no tienen por qué suponer ningún coste adicional.

Dos de los elementos fundamentales que intervienen en el **consumo energético** son:

- **La forma de la vivienda:** la forma de la edificación, al igual que su altitud, repercutirán significativamente en las ganancias o pérdidas térmicas de la misma. Un edificio compacto o conjunto de viviendas necesita mucha menos cantidad de energía que una vivienda unifamiliar aislada.
 - **La orientación de la vivienda:** en una vivienda, si se sitúan los espacios principales en la fachada sur, éstos recibirán grandes contribuciones solares en invierno y moderadas en verano, disminuyendo la necesidad de calefacción. Así mismo en las fachadas orientadas hacia el Norte ocurren grandes pérdidas de calor, por lo que es conveniente reforzar sus aislamientos y cerramientos.
-
- **Ahorro de energía.**

Con el objetivo de progresar aún más y construir el futuro minimizando el impacto medioambiental, CEMEX ha creado el sello verde **ECOOPERANDO**, un distintivo que identifica los productos que más contribuyen al ahorro energético.

Los productos con dicho sello aportan una disminución de un 35% en las emisiones de CO₂ en relación con un cemento tipo I puro debido a:

- El empleo de combustibles alternativos obtenidos a partir del reciclado de residuos.
- Su formulación adiciona una mayor proporción de añadiduras originarias igualmente de residuos de otras industrias.

Estos productos son producidos en industrias que portan la certificación medio-ambiental ISO 14001, que avala una obligación estricta con la normativa y los ordenamientos más inmovibles en gestión de residuos, consumo de recursos naturales, control de emisiones y contaminación de suelos.

Una vez analizados estos aspectos puede concluirse que la Edificación Sostenible busca principalmente la minimización del impacto ambiental que se pueda producir en las diferentes fases de la construcción, instalación, uso o desactivación de un edificio, así como el confort y la adecuación a las necesidades y características individuales de los usuarios.

Construir con criterios de sostenibilidad puede generar beneficios que se resumen en la siguiente gráfica:

Ilustración 6: Desperdicios de la construcción y el medio ambiente



Fuente: Depositfoto.com

Los restos de la construcción tienen un significativo efecto medioambiental. La EPA (U.S Environmental Protection Agency), promueve tres estrategias sintetizadas en las siglas de las tres erres: Reducir, Reutilizar y Reciclar. La primera se pronuncia por disminuir los residuos, ya que disminuye el impacto de un material en su ciclo de vida, desde su producción hasta su desecho. Algunos mecanismos para reducir los residuos durante la evolución y mantenimiento de un inmueble son:

- Implementar una política de gestión de residuos en la cual se precisen los ordenamientos de desviación de desechos sólidos y las metas a conseguir para la edificación.
- Efectuar auditorías de flujos de residuos, donde puedan identificarse oportunidades para disminuirlos.

- Conservar un esquema de reciclaje en el que los consumidores tengan acceso factible e premisas claras sobre la importancia de reciclar y de disminuir desechos.
- Establecer monitoreo, plasmar e informar los datos tangibles de los residuos con las empresas que retiran los residuos, para comprobar la efectividad de la política de gestión de residuos.
- Convertir restos orgánicos en abono para jardines del inmueble mediante compost.
- Proporcionar un programa de reciclaje de recursos duraderos y electrónicos (E-waste) con recaudación adecuada mediante reutilización, reciclaje o donaciones.

Conjuntamente debe preverse la reducción de restos en las etapas de proyecto y programación de la obra. Durante la etapa de diseño, es trascendental pensar en la rebaja de desechos perfeccionando las dimensiones de las materias primas y recursos a utilizar, calculando la especificación del material para su óptima utilización, disminuyendo despuntes. Seguidamente, debe crearse un plan de gestión de residuos en el sitio de la ejecución, instaurando un método para registrar los desechos con potencial para ser reutilizados o reciclados, apartándolos y facturando un registro por volumen o peso de la cuantía de residuos. Entre las tácticas principales para la preservación de materiales se encuentran:

- Modificar edificaciones existentes y materiales reutilizables, eligiendo recursos empleados previamente.
- Planear ciudades de tal forma que las comunidades no se expandan tanto horizontalmente, disminuyendo la necesidad de urbanizar con vías e infraestructura.
- Proyectar espacios bien aprovechados y flexibles, que puedan utilizarse para usos múltiples.
- Aplicar técnicas de optimización de material de acuerdo con las distancias disponibles.
- Promocionar disminución en las actividades de la residencia, designando lugares concretos de reciclaje para sus moradores.

CAPÍTULO III

3. RECOLECCION DE DESECHOS DE CONSTRUCCION

3.1. Generalidades

La presente investigación se realizó en la ciudad de Quito, en el Distrito metropolitano de Quito en la zona centro Norte, en la construcción del edificio La Floreana, edificación y ampliación torres de departamentos Alba.

3.2.1. Manejo de Desechos de Construcción

El distrito metropolitano de Quito desde hace varios años cuenta con dos escombreras autorizadas y habilitadas para su correcto funcionamiento, estas están ubicadas una en el norte de Quito cerca de la mitad del mundo en Talangua y la otra en el sur de Quito sector del Troje 1, ambas con una capacidad aproximada de un millón de m³.

Tras los problemas técnicos-logísticos del troje y sus cierres temporales que se dan por exceso de desechos sólidos, orgánicos, etc. generan montículos que impiden el ingreso de las volquetas o maquinaria esto produce estos cierres temporales en los cuales se trabaja en tender los desecho, ordenarlos o agruparlos para poder abrir paso a la circulación de maquinaria.

La escasez de lugares donde colocar los escombros surgen los botaderos o escombreras ilegales, como son quebradas, terrenos baldíos, etc. El municipio de Quito implementará un plan de ampliación en el troje con nuevas etapas como son troje 2-3 que se encuentran en construcción, la Empresa Metropolitana de gestión de residuos (Emgir) planea la implementación de tres escombreras más.

Estas tres nuevas áreas están previstas una en Tumbaco, una en el sector de TocoToco y la última será en el Troje etapa 4, todo esto para evitar los botaderos o escombreras ilegales y dar solución a la gran demanda de estos sitios y de esta forma eliminar los escombreras o lugares no autorizados, existen multas para las

personas que utilizan espacios no autorizados como botaderos de escombros , estas multas tiene un valor de 300 a 1200 dólares.

El Emgir propone en Quito una gestión de escombros responsable, integral y de un óptimo manejo, esta última para dar una correcta solución al problema que posee quito respecto a los desechos, escombros, etc. Que año tras año en el DMQ crece su demanda y necesidad de un correcto manejo y funcionamiento.

Para un óptimo manejo de los desechos de construcción planteamos operaciones, estrategias y políticas que se instituyen dentro de una organización, cuyo objetivo es prever y/o reducir los efectos ambientales dañinos que pueden ocurrir como consecuencia de la generación de los desechos, se les conoce por gestión de los desechos.

La gestión de los desechos se lleva a cabo mediante un Plan de Manejo, el cual detalla los procedimientos y las instrucciones encaminadas a proporcionar el destino medioambiental más apropiado según sus características.

El objetivo es disminuir la cuantía de residuos y otorgarles un valor añadido según los criterios de eficiencia ambiental, económica y social. Dicho plan, refiere las operaciones para la disposición final, la normativa y buenas prácticas en la conducción y procesado de los mismos. Éste constituye una de las herramientas fundamentales para la disminución, gestión y administración de los restos de la construcción.

Para la implementación de planes para la gestión y manejo de los desechos, es necesario primariamente el conocimiento y la aplicación de la Legislación Ambiental vigente y de la normativa confeccionada respecto al tema. Favorablemente en el Ecuador ya está establecida la legislación para el manejo y tratamiento de los desechos sólidos. En el país, a través de la Ley de Manejo de Desechos, se procura controlar y normar los volúmenes de desechos que se producen. La Ley reserva un apartado particular destinado a cómo manejar los remanentes de la actividad constructiva. El origen de este proyecto radicó en la inquietud por el exorbitante crecimiento de los desechos de la construcción respecto al incremento de la propia industria constructiva.

Una cuestión primordial para ejecutar un proceso apropiado de gestión de los restos de la construcción, es conocer y comprender su ciclo de vida e identificar los problemas fundamentales que se presentan por etapas y sus salidas viables. Así

mismo, para instituir políticas, prácticas, o estrategias sostenibles, en relación al manejo de los desechos, es necesario asignar e identificar responsables del proceso así como, realizar un análisis de la tecnología que se utiliza y establecer un plan de manejo que pueda incorporar la mejora continua. Es necesario primeramente identificar las acciones y lineamientos a seguir en el sitio de trabajo y establecer los procedimientos de control correspondientes.

3.2.2. Proceso de Recolección

El proceso de recolección que se realizó en situ y obras consta de los siguientes puntos:

1. Recolección: Mediante este proceso se designó los trabajos que deben realizar los obreros para acopiar y transportar los residuos resultantes del proceso constructivo hasta el lugar designado y apropiado para ese fin, en nuestro caso se lo acopio en obra con la respectiva señalética. fue imprescindible establecer la metodología, periodicidad, los encargados y principalmente trabajar bajo estrictos patrones de seguridad como el uso adecuado de los Equipos de Protección personal. El sistema de recolección se modificará según la tecnología de que se disponga en el proyecto, su complejidad y dimensión, la cuantía, volumen y dimensión de los restos y la cantidad de espacio disponible en el lugar de trabajo para ese fin. Al ser este el paso inicial es preciso tener en cuenta un grupo de aspectos tales como la información e instrucción del personal de la obra.

Ilustración 7: Acopio de desechos de construcción



Fuente: Josué Bolaños

2. Separación: En este paso se realizó los trabajos de ordenamiento y clasificación para materiales y elementos determinados en nuestro caso principalmente se separó el hormigón reciclado del hierro, maderas, cerámicas, ladrillos, ventanas y perfilaría. Aquellos materiales catalogados como especiales o desechos peligrosos, tendrán que ser manipulados de manera particular. Tendrá que existir entonces en la obra un sitio determinado para apartar o catalogar los materiales y apartar, del flujo de desechos, aquellos que requieren atención diferenciada como son los restos de pinturas, solventes u otras sustancias tóxicas que exigen mayor precaución en su manejo. Deben tenerse en cuenta medidas de seguridad tales como la

identificación, limitaciones de entrada y reclusión transitoria tales como redes y cintas de seguridad y el empleo de equipamiento de protección individual tal como máscaras, gafas de seguridad, calzados de seguridad, chalecos y guantes para los operarios que realizan la separación. Es en esta etapa que se tomará la decisión sobre el sucesivo camino que tomará el material por ejemplo, si el mismo es reciclable o reutilizable o sea, si puede emplearse en el propio proceso o proyecto. Para poder consumir este proceso es importante designar operarios que cumplan concretamente con este trabajo, a los cuales será necesario brindársele potestad, compromiso y adiestramiento en este sentido.

3. Almacenamiento: Esta actividad se la realizo en obra que es el mismo sitio de generación. Se especificó el orden de almacenamiento y si es reutilizable o no. Dicho acopio puede hacérselo en acumuladores, tanques o recipientes creados para este uso. Las peculiaridades de los mismos obedecerán al tipo de material a acumular, así como las dimensiones y el volumen que estos originan. Una manera puede ser destinar cajones cerrados de disímiles cabidas en relación con el tipo de material, ya sea plásticos, madera, metales, papeles y cartones, basura, entre otros). En nuestro caso los materiales se amontonaron catalogándolos una parte como material de reciclaje y el resto como material para transportar al relleno sanitario o botadero, . Para ello señalizamos claramente, utilizando letreros de tal modo que la misma se entienda, para posteriormente entregarla al personal encargado de conducirla al sitio destinado.

4. Tratamiento: El tratamiento en general que se le realice a los residuos dependerá del tipo de material y de sus propiedades después del uso o aplicación. En el caso de nuestros materiales de construcción se pudo realizar lo siguiente:

- **Reciclaje:** Fue el Proceso donde algunos de los materiales de residuos se clasifican, separan, recogen, y almacenan para ser reintegrados como materias primas al ciclo productivo de la obra, construcción. Como fue el caso del hierro que se obtuvo producto del

derrocamiento de las columnas, cadenas, hierro que se separó, organizo y peso de igual manera todo el material de alambre de amarre, recocido y galvanizado se lo separo y peso para su venta. Este mismo proceso se realizó para los escombros de hormigón y restos de escombros para que estos sean empleados como material base en construcciones secundarias, como fue el caso de los replantillos y muretes de contorno.

- **Recuperación:** Actividades concernientes a la obtención de materiales secundarios. Habitualmente consiste en aislar de los desechos sólidos algunos de sus elementos para su reaprovechamiento. De segmentos de madera, por ejemplo, podrían hacerse estacas u otros elementos que sirvan para apuntalar o reforzar una formaleta.
- **Reusó:** Consiste en el regreso de un elemento o material para ser reutilizado en forma idéntica o como se utilizó antiguamente, sin transformaciones en su forma y naturaleza. En caso de hallarse en buenas condiciones estructurales como para ser usada de nuevo, el tratamiento de limpiado y extracción de los clavos para su reuso es conveniente en el caso de la madera, como fue en nuestro caso marcos, tapa marcos, puertas.

5. Transporte: La transportación al sitio de disposición final debe acometerse siguiendo las más precisas medidas de seguridad, respeto medioambiental y ético. Sólo los desechos previamente descartados o que no tenían utilidad para ser usados en otros procesos o proyectos fueron desalojados en volquetas con todas las medidas de seguridad como fue el usar tablas a los lados del balde de la volqueta para no tener caídas de material en el camino, el uso del cobertor para evitar que caigan o vuelen partículas del material transportado, dicho material que ya no es reutilizable fueron transportados del área de construcción al relleno sanitario o botadero del troje. O sea, al relleno sanitario debe trasladarse solamente materia calificada como basura. La empresa determinará las formas de transporte. Generalmente las empresas dedicadas a la construcción cuentan con sus propios vehículos o se encargan de contratar a otras compañías que les brindan este servicio.

Ilustración 8: Camión para transporte de desechos



Fuente: Josué Bolaños

6. Deposición final: Es el paso final. Deberá ser una fase inspeccionada y ambientalmente segura. La deposición concluyente puede realizarse de diversas maneras, habitualmente se dispone de las opciones siguientes:

- **Relleno Sanitario:** Fue el sitio para el desalojo sanitaria y ambientalmente segura de los desechos sólidos. La misma se ejecuta superficialmente o subterráneamente, según los preceptos y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental. Este modo de eliminación terminante de los residuos sólidos en el suelo no ocasiona disgustos ni riesgo para la seguridad y salud de las personas. No damnifica el ambiente durante su ejercicio ni luego de concluido el mismo. No obstante éste constituye un costo añadido para los proyectos, por lo que al relleno sanitario deben enviarse sólo los residuos que ya no pueden ser recuperados, reusados o reciclados.
- **Vertederos municipales:** Constituyen sitios locales o provinciales destinados al depósito terminante de los residuos. Sus instalaciones, a semejanza que los rellenos sanitarios, han de contener las condiciones higiénico – sanitarias, de protección y seguridad, y ambientales, en correspondencia a lo estipulado en la constitución y normativas

actuales. De igual manera que en los rellenos sanitarios, a estos terrenos debe llevarse aquel tipo de restos calificado como basura, o sea, que ya es imposible adquirir algún beneficio del material.

3.2.3. La De-construcción como una alternativa a largo plazo para la disminución de desechos en Quito.

La de-construcción es la secuencia de operaciones ordenadas que permiten un alto grado de rescate y reutilización de los desechos, para ser reintegrados nuevamente al proceso productivo. Como deconstrucción tenemos la agregación de forma ordenada de las rutinas de desarmado y recogida selectiva de materiales durante el proceso de derribamiento de una estructura. En tal caso, ya no significa un derribo más, sino el desarme cuidadoso de elementos componentes de un todo. Por ello constituye una alternativa a la demolición actual, que asiente a aprovechar al límite los materiales que conforman el inmueble, considerando que el 95% de una edificación se compone de materiales pétreos inertes, recuperables y reciclables fácilmente.

La De-construcción involucra los siguientes procedimientos:

- Desintegración sistemática de los elementos arquitectónicos aprovechables, de forma tal que puedan reutilizarse en otras obras sólo con minúsculas innovaciones o adecuaciones (Ejemplo: puertas, ventanas y sus respectivos marcos).
- Detección de los materiales perjudiciales o tóxicos con el propósito de que no estén mezclados con el resto de los materiales y de esa manera poder incorporarlos al ciclo natural en condiciones óptimas. Entre estos materiales se encuentran los aislantes que contienen amianto, así como la madera que ha sufrido tratamiento químico.
- Derrocamiento generalizado de la estructura de la edificación, a fin de rescatar los materiales reciclables tales como cerámicas, hormigones, rocas, etc.
- Rescate de materiales con posibilidades para un segundo uso, que no provienen de áridos. Reaprovechar este tipo de materiales no resulta

de gran dificultad, puesto ya que es ya común en los procesos industriales (de los metales, los plásticos, etc.).

Evidentemente en acciones prácticas no todo puede ser recuperado, pero si se pueden proponer metas alcanzables en este sentido como maximizar en lo posible el valor del aprovechamiento de los materiales y elementos constructivos que forman parte de un inmueble, de forma tal que se logre un equilibrio entre los costes medioambientales y económicos. Asimismo, se ha de tener en cuenta que el diseño del inmueble a desmantelar influye en la cuantía de recuperación, puesto que si no ha sido concebido para reutilizar sus elementos será más engorroso lograr la recuperación. Pero, cuando este sea el asunto se rescatarán todos los componentes que permitan un nuevo ciclo de vida, sino se catalogarán los residuos para intentar reciclarlos.

En derrocamientos, el reusó y el reaprovechamiento, van a proporcionar una superior gestión de los desechos. La desconstrucción constituye una solución al derribamiento que va a admitir un óptimo aprovechamiento de los componentes de un inmueble. Al reciclar y valorar los restos de un derribamiento, de forma tal que éstos puedan ser agregados en otra obra, lograremos también otro fin que igualmente favorece al medio ambiente; disminuirémos el efecto negativo producido por la producción de nuevos materiales, ya que no será necesario elaborar tantos.

3.2.3.1. Aplicación de la Técnica de De-construcción.

Hoy en día, al realizarse una demolición, la premisa es el ahorro de tiempo. Habitualmente se demuele sin diferenciación entre los elementos que conforman el todo. Así, las probabilidades de reaprovechamiento son pequeñas. No obstante, esta facilidad tiene necesariamente que quedar atrás y será pertinente de-construir más lentamente, desmontando progresivamente los disímiles segmentos de la estructura. El rescate de materiales es viable, y más en proyectos de demolición, como es el caso del recobro de los elementos arquitectónicos en viejas estructuras.

El rescate deberá ser un proceso bien concebido para que la recuperación de materiales se realice sin riesgos y no perjudique el proceso de derribamiento. Componentes tales como ventanas, puertas, tejas y vigas de madera o metal, pueden extraerse previamente al proceso de demolición. Otros elementos de alto

coste, tales como las tuberías de cobre en caso de existir, podrían rescatarse. Además resulta significativo salvar ladrillos y tejas de arcilla, ya que poseen un alto coste económico en el mercado. Es una realidad que la práctica de la deconstrucción es una concepción nueva en un medio en el cual hasta la actualidad se incrementa progresivamente el proceso de demolición. Ciertamente, constituye una opción de manejo de desechos a largo plazo, ya que puede concebirse y planificarse en los nuevos proyectos pensando lograr una arquitectura sostenible que maneje materiales con las siguientes particularidades:

- Materiales no contaminantes.
- Poco consumidores de energía y recursos naturales.
- Que produzcan mínimos desechos.
- Reciclables y reusables.

3.2.4. Reducción en el uso de Materiales

Durante la fase de planeamiento mismo, de concepción y de proyecto, surge esta opción de disminuir el uso de los recursos. Mientras se planea el diseño, debe cavilarse en soluciones funcionales y en métodos constructivos que manejen tecnologías limpias y contribuyan a menguar en lo posible el empleo de materiales. El trabajo en un conjunto en el que la totalidad de sus miembros tributen opiniones sobre la manera de consumir el proyecto en forma óptima, es indispensable. Diseños complicados, necesitados de secuencias constructivas complejas y tecnología rebuscada, generarán mayores desechos de materiales y sobreconsumos energéticos. Los profesionales responsabilizados con el proyecto, deben suscitar que los diseños se conformen con estructuras simples y de factible ejecución, así como que reduzcan el gasto de materiales, fundamentalmente aquellos cuya fabricación solicita un gran empleo de energía.

Es trascendental analizar el ciclo de vida de los inmuebles y cavilar proyectos que faciliten su deconstrucción al concluir su vida útil tal como diseñar uniones mecánicamente más eficaces que viabilicen su desarme. Durante la ejecución es significativo cumplir responsablemente con los procesos constructivos que perfeccionen el uso eficiente de los recursos y también reducir el uso de estructuras

transitorias, principalmente de madera y maquinaria que demandan una considerable cantidad de energía en forma de combustible. Pero sin dudas, lo más importante para lograr esta meta, es trabajar enérgicamente en campañas de preparación y concientización de los profesionales encargados.

3.2.5 Reducción de los desechos

Durante la etapa de planificación, antes del comienzo del proyecto, es viable prever la disminución de los residuos. En esta fase es posible tomar decisiones sobre la selección de la mejor tecnología y las técnicas constructivas con capacidad no sólo para optimizar los recursos sino también para menguar sus costos. Es aconsejable entonces realizar estos sucesivos pasos:

1. Estimar, según el tipo de residuos que se generará, las cuantías de restos que se originarán, y por ende seleccionar los sistemas constructivos y las tecnologías que provocan bajos desechos.

2. Indagar localmente la presencia o cercanía de centros de recogida o reaprovechamiento donde puedan colocarse determinados residuos.

3. Planear previamente al proyecto, el manejo apropiado de los materiales, analizar si es viable reciclar o reducir algunos y emplearlos en el proyecto.

4. Constituir un Plan de Manejo de Residuos para el proyecto y, una vez impreso, hacerlo presente, visible y conocido en el emplazamiento de la obra.

5. Incluir en dicho Plan como maniobrar los restos dentro de la construcción y como trasladarlos fuera de ella.

6. Conformar tácticas y políticas para el establecimiento de materiales reciclables y/o reutilizables e identificarlos claramente.

7. Crear sitios determinados para la faena de las distintas cuadrillas. Por ejemplo la ubicación de la madera clasificada por tipos y tamaños de tal manera que pueda ser fácilmente identificada y empleada.

8. Decretar la responsabilidad máxima con el programa. Es primordial elegir a una persona que con interés, noción y preferiblemente experiencia previa en el reuso y reciclaje de materiales. Dicho especialista estará a cargo del examen y

fiscalización y viabilizará que el plan se lleve a cabo fielmente tanto por los operarios como por los subcontratistas.

9. Adiestrar a las cuadrillas de la empresa y del subcontratista sobre el plan asegurándose de su comprensión y asimilación.

10. Añadir la enseñanza del plan en los planes de reuniones ordinarias y de seguridad planificadas.

11. Sumar a la totalidad los copartícipes dentro del proceso, estimulando propuestas de perfeccionamiento al plan.

12. Brindar estímulos a los trabajadores que efectúen el plan en forma correcta.

13. Circunscribir en las licitaciones y contratos de proyectos exigencias para que las empresas se vean obligadas a prevenir, reciclar y reutilizar.

3.2.6. Reusó de Materiales

Frecuentemente se observa salir de las obras camiones trasladando enormes cuantías de desechos calificados como basura sin ser examinados con anterioridad para comprobar si pueden ser tratados previamente. Resulta común ver cómo se descartan y tiran materiales con determinadas capacidades para ser reutilizados o reciclados. Los motivos fundamentales para este tipo de conducta son principalmente la falta de estrategias apropiadas de gestión y manejo en el emplazamiento del proyecto, la carencia de conocimiento del personal (solucionable con apropiada instrucción), la incorrecta administración de los materiales como cuando se transportan al lugar más cantidades de materiales de las necesarias ocasionado por una incorrecta política de administración y se generan grandes cantidades de desperdicios.

Ello unido a la existencia en los ingenieros de una ignorancia de las ventajas y beneficios de realizar una conducción adecuada de los residuos, principalmente las bondades económicas al disminuir la adquisición de nuevos materiales, la limpieza y el cuidado en el lugar de labor, lo que se convierte en descenso de la accidentalidad laboral y en aumento de la productividad y paralelamente la falta de conocimiento sobre la manera de manipular estos residuos.

Dada la aptitud de ciertos materiales para ser restablecidos a la trinchera de producción, es viable especular que entre de los desechos creados por la industria de la construcción, son los metales y la madera los que mayor capacidad de re-uso

poseen. No obstante, los restos de las excavaciones, el hormigón, los ladrillos, las tejas y las losas cerámicas, constituyen elementos con gran potencialidad a escala global para ser reciclados.

Es significativo instituir políticas in-situ para instruir a los recursos humanos a emplear educadamente los métodos del ciclo de los residuos. Una de ellas es la de apartar los materiales en condiciones de ser usados en los mismos procesos de la obra o que sean trasladados a otras donde sean reusados. Otra es la de educar y crear conciencia en los obreros sobre el empleo exhaustivo y consciente de materiales tales como el acero, el cemento y otros aditivos etc., recursos con costos elevados pero con posibilidades para optimizar su provecho.

Ilustración 9: Carga y traslado de materiales



Fuente: Josué Bolaños

3.2.7. Reciclaje

Dadas las peculiaridades de la generalidad de los residuos de la construcción es casi seguro que la mayoría pueda reutilizarse. Los restos resultado de la destrucción de elementos de hormigón o ladrillo son ejemplo de ello. Práctica

frecuente en la actualidad en naciones europeas y norteamericanas. Dichos productos, en estos casos, deben certificar su calidad debido a que apuestan en el mercado contra los productos habituales.

En el caso de los derivados del concreto, no establece diferencia entre si el producto es empleado en edificios, casas, u otro prototipo de proyecto. Para ellos, de cualquier modo, su constitución es similar. Sólo existe una desigualdad y radica en los exámenes de calidad realizados en las distintas industrias o fábricas que los elabora. Este ejemplo permite especular que si estos productos de hormigón se reusaran de esta forma podrían emplearse en rellenos, plataformas de pavimentos, aceras, parqueos, entresijos o losas de piso, aprovechándose en la propia obra donde se generan o en otras.

Ilustración 10: Empleo de desechos para relleno



Fuente: Josué Bolaños

3.2.8. Aplicación del Concepto de Construcción Sostenible

Idear, proyectar y desarrollar obras de construcción considerando aspectos ecológicos es la mejor manera de encontrar una solución a la problemática de los residuos de la construcción. Aun cuando para lograrlo sea necesario cambiar el pensamiento de la mayoría de los diseñadores y fomentar que los participantes de un proceso de edificación consideren en la totalidad de las fases del ciclo de vida de

la obra la variable ecológica. En un futuro inmediato será absolutamente inevitable considerar que cualquier construcción tendrá que lograr reciclarse al concluir su vida útil.

Ilustración 11: Empleo de productos reciclados para el relleno



Fuente: Josué Bolaños

3.2.9 La Gestión en el manejo de Desechos de Construcción

La gestión de los residuos de la construcción constituye un paso difícil de implementar. Llevar a cabo operaciones supuestamente tan simples como derrumbar, cargar, trasladar y colocar en algún sitio (inspeccionado o no) cualquier tipo de desechos, demanda de toda una metodología que se inicia con cometidos complicados y caros, asignación de compromisos concretos, aspectos técnicos no asumidos hasta el momento, entre otros. Por ello es imperioso que desde el inicio se implanten los compromisos de cada miembro con la finalidad de que los mismos consigan los hábitos de gestión de los residuos y esto se transforme un procedimiento usual de labor.

Los miembros del sector construcción, deben asumir sus compromisos en las estrategias diseñadas para la utilización de los desechos provenientes de la propio construcción:

- Los diseñadores concebirán sus proyectos desde una gestión superior, en la cual juega un papel importante el tratamiento de los residuos.
- Los proyectistas crearán soluciones constructivas que viabilicen la reconstrucción, el uso de la modulación y la estandarización y

concebirán diseños en donde la complejidad de los procesos deje de ser un aspecto predominante.

- La municipalidad presidirá la gestión de los desechos de la construcción en sus respectivas comunidades.
- Los productores de materiales de construcción deberán manejar y aplicar las concepciones de producción más limpia.
- Pero las universidades serán las encargadas de formar profesionales reflexivos hacia la obligatoriedad de añadir preceptos de construcción sostenible al desarrollo de sus proyectos y por ende lograr que la construcción se convierta en un movimiento productivo con consciencia ambiental.

3.3. Los desperdicios de la construcción producto del derrocamiento en Quito.

Con una cuantía poblacional que después de Guayaquil, constituye la segunda del Ecuador (1,619 millones), la ciudad capital, Quito, ha presentado en los últimos años un crecimiento vertiginoso de su población, que en su mayoría se debe a causas como la prohibición constitucional del aborto, la migración de personas desde otras regiones del país y la llegada de inmigrantes fundamentalmente norteamericanos, españoles, cubanos y chinos para asentarse en la ciudad.

Consecuentemente con esto y unido a la inyección de capitales producto de la inversión extranjera, con el objetivo de viabilizar la coexistencia, mejorar la calidad de vida y favorecer el flujo y la movilidad no sólo de tantas personas, sino de las actividades socioeconómicas y la vida en general, ha sido inminente la transformación y el desarrollo del fondo habitacional y la infraestructura general de la ciudad.

El creciente desarrollo económico ha impulsado en las últimas dos décadas dos factores fundamentales: el aumento del consumismo producto de la elevación de los estándares de vida y el auge constructivo de edificaciones e infraestructuras. Ello ha traído consigo que, producto de las actividades socioeconómicas diarias, Quito sea una ciudad que genere diariamente un volumen impresionante de desechos.

En la actualidad existen en Quito varias empresas públicas y privadas cuya razón de ser es precisamente la gestión y el manejo de los desechos sólidos orgánicos e inorgánicos procedentes del hogar, las instituciones y aquellos resultantes del desarrollo de obras como los productos de la construcción o el derrocamiento de edificaciones e infraestructuras.

La Empresa Pública Metropolitana de Aseo ha convocado a redimir la identidad cultural de la ciudad con el objetivo de conservar y perfeccionar la calidad de vida de sus habitantes colaborando con la campaña llevada a cabo por el Municipio para renovar la imagen de la ciudad, la cual se nombra “Quito Limpiecito”.

Datos facilitados por de la entidad informan que los vehículos recolectores transitan 2.200 km diarios, abarcando más de 700.000 hogares y servicios dispuestos en 18.400 manzanas situadas en el interior de la ciudad y también en su periferia.

En la ciudad se acopian diariamente alrededor de 1.500 toneladas y 2.000 toneladas, en promedio, lunes y martes, días en los cuales hay un mayor volumen de desperdicios.

Ilustración 12: Acopio de desechos



Fuente: Josué Bolaños

Para tener una idea comparativa, 1.500 ton de desechos equivaldrían a una cifra similar a 106.600 tanques de 14 kg de gas que, de ser colocados uno tras de

otro y horizontalmente sobre el suelo, abarcarían una trayectoria de 30 km de longitud, o sea, 10 km menos solamente que los que alcanza la propia capital.

Para coleccionar diariamente esta cuantía de residuos, EMASEO abarca Quito con 232 rutas, fragmentadas diarias, en diurnas y nocturnas, los días lunes, miércoles y viernes en unas partes y los días martes, jueves y sábado, para otras.

Dicha empresa posee con una flota de 105 equipos para recolección, 14 vehículos de equipo pesado y 13 para servicio de barrido, conformado por 4 camiones cisternas, 4 barredoras mecánicas y 4 canters. Con el objetivo de fortalecer esta operación en el Centro Histórico, dado lo compacto de su estructura urbana y la variedad de actividades socioeconómicas que allí se llevan a cabo a diario, cuenta además con 3 camiones de carga, 2 hidrolavadoras y 2 barredoras del tipo mecánicas.

EMASEO reparte a diario 174 trabajadores de barrido manual y 4 barredoras mecánicas, que abarcan las vías más importantes de la ciudad en turnos diurnos y nocturnos, alcanzando a limpiar 360 km diarios. Los desechos producto del barrido manual y las barredoras mecánicas, alcanzan las 60 ton diarias, en las cuales se circunscribe además el material acopiado en las papeleras dispersas por la ciudad. Sin embargo, EMASEO señala que aún queda demasiado por hacer y es indispensable la cooperación de las personas para conservar higienizada la ciudad.

CAPITULO IV

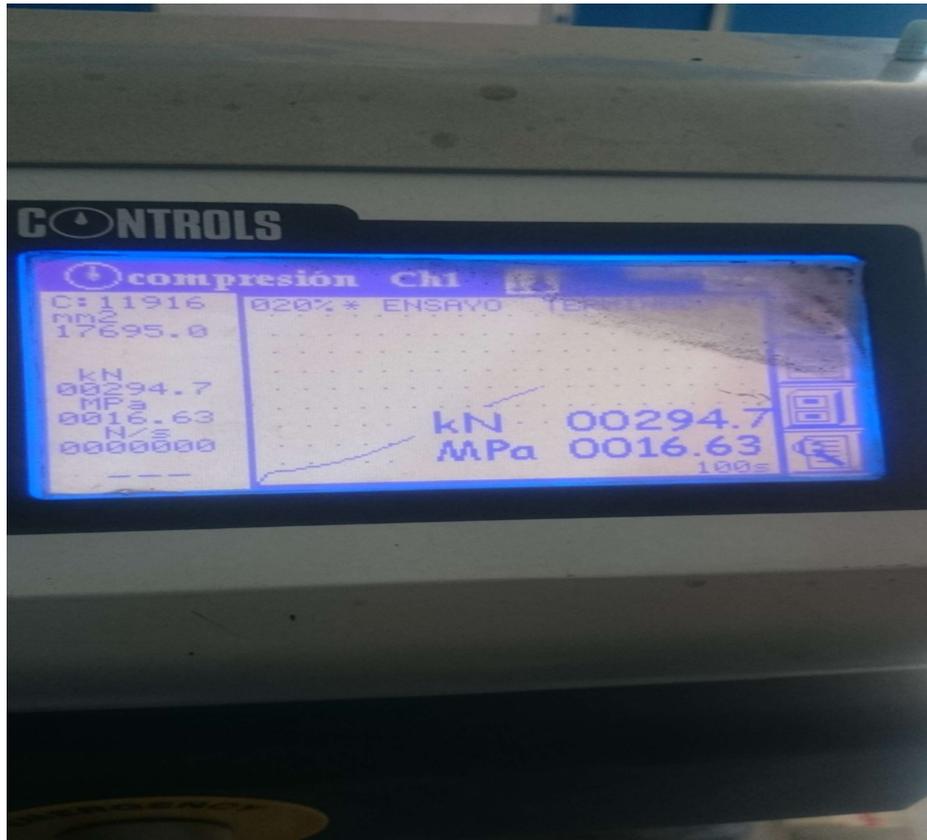
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LABORATORIO

4.1 Introducción

A continuación se presentan los resultados del trabajo experimental realizado en un laboratorio según la norma ASTM C-39 / C39M – 12a, sobre el comportamiento de la resistencia a compresión de cinco tipos de hormigones: hormigón con agregados de hormigón reciclado, hormigón con agregados de hormigón reciclado más bloque, hormigón con agregados de bloque más cerámica, hormigón con agregados de ladrillo más cerámica y hormigón convencional, todos diseñados utilizando áridos finos procedentes de la mina de San Antonio y áridos gruesos reciclados de hormigón, bloques, ladrillos y cerámicas. Posteriormente se procedió a hacer una comparación, a partir de ensayos mecánicos realizados a los cilindros con los cuatro tipos de hormigones con agregados reciclados, con el hormigón convencional, para así determinar, de acuerdo a sus prestaciones, cuales son aptos para ser utilizados en función de hormigón estructural de bajas prestaciones y cuales pueden emplearse en otros usos.

Ilustración 13: Prensa para la realización de cilindros





Fuente: Josué Bolaños

En el estudio, se decidió trabajar con una mezcla de 21MPa de resistencia, de relación agua cemento 0.567, sin el empleo de aditivos que proporcionen una mejoría de las propiedades en estado fresco.

La dosificación empleada fue la siguiente, basados en el diseño de mezclas que establece la ACI 211:

Tabla 10: Dosificación gravimétrica de mezclas de hormigón para hormigón de 21 MPa de resistencia a compresión a los 28 días, elaborado con sustitución parcial de agregado grueso con materiales reciclados.

MATERIAL	PE (SSS) (KG/M3)	PE (ap) (KG/M3)	PUS (KG/M3)	PUC (KG/M3)	% ABSORCIÓN	MF	RELACIÓN A/C
Cemento	3150		1200			2.37	0.567
Arena	2417	2563	1443	1628	4.026		
Agregado grueso	2394	2551	1270	1403	4.419		

Fuente: Josué Bolaños

Siendo la dosificación para la elaboración de un metro cúbico de hormigón las expresadas en la tabla 11.

Tabla 11: Dosificación volumétrica de mezclas de hormigón para hormigón de 21 MPa de resistencia a compresión a los 28 días, elaborado con sustitución parcial de agregado grueso con materiales reciclados.

MATERIAL	PESO/M3 (kg)	VOL/M3 (m3)	PESO LAB v=0.023 (kg)
Agua	193.00	0.193	4.44
Cemento	340.27	0.284	7.83
Arena	928.02	0.702	21.34
Agreg.grueso	730.04	0.628	16.79
Total	2191.32		

Fuente: del autor

Ilustración 14: Cilindros ensayados



Fuente: Josué Bolaños

Determinación del peso unitario suelto y compactado.

Se ensayó únicamente el árido grueso natural empleado en las muestras, ensayos que arrojan como peso unitario suelto 1270 y peso unitario compactado de 1403 kg/m³.

Con respecto al árido fino, al emplearse en el experimento un mismo tipo de árido, en este caso procedente de las minas de San Antonio, los valores de PUS y PUC del árido fino de las muestras son 1443 Kg/m³.

Granulometría del árido fino.

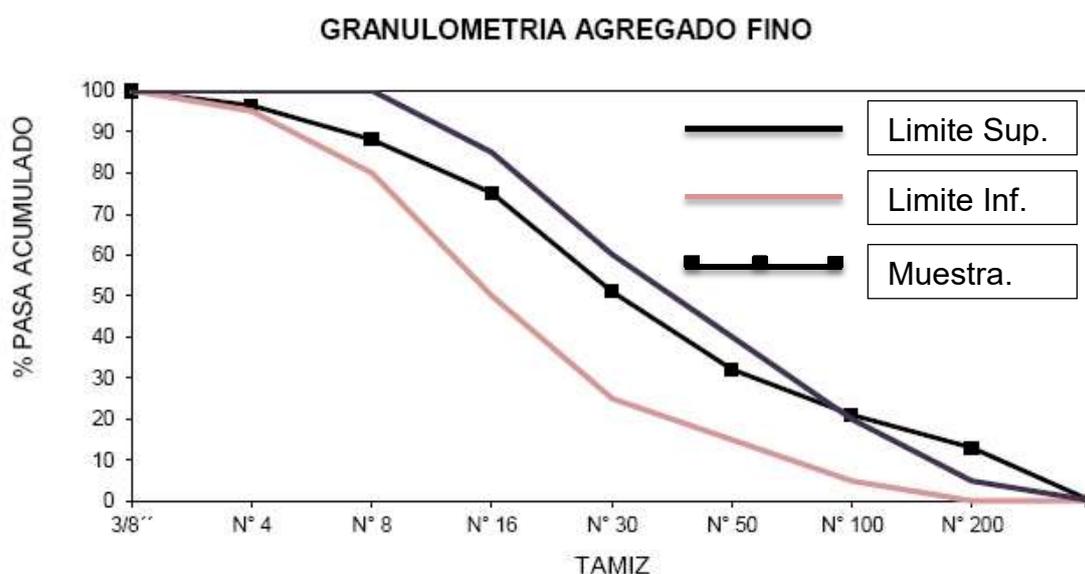
El árido fino ensayado cumple con las normativas exigidas, y es factible su uso aunque existe un incremento del % de partículas finas presentes en la mezcla, aunque este aspecto contribuye a disminuir el consumo de cemento en la mezcla realizando función de filler.

Tabla 12: Granulometría del árido fino.

TAMIZ	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% PASADO
3/8''	1.75	1.75	0	100
No 4	47.75	419.50	4	96
No 8	11.22	160.72	12	88
No 16	174.21	334.93	25	75
No 30	323.61	658.54	49	51
No 50	254.32	912.86	68	32
No 100	149.49	1062.35	79	21
No 200	107.37	1169.72	87	13
FUENTE	173.81	1343.53	100	0

Fuente: Josué Bolaños

Ilustración 15: Curva granulométrica del árido fino ensayado



Fuente: Josué Bolaños

Peso específico y absorción de agua.

También para este ensayo sólo se emplearon muestras del árido natural, siendo el peso específico del árido fino 2473 kg/m^3 , correspondiendo a 4.84% el valor de la absorción. Sin embargo, para el árido grueso el peso específico es de 2417 kg/m^3 , para un valor de absorción de 3.88%.

De acuerdo a la ASTM C-39 / C39M – 12a, los valores de las propiedades peso específico y % de absorción obtenidos no cumplen con las especificaciones que se establecen en dicha norma; ya que el peso específico corriente tiene que ser mayor que 2.5 g/cm^3 y la absorción no debe sobrepasar el 3%.

Abrasión Los Ángeles.

En este ensayo se procedió a calcular el por ciento de desgaste que tienen los materiales objeto de estudio, siendo 22.52% el valor de los análisis. Comparándole con la norma ASTM C-39 / C39M – 12a. Requisitos según la Abrasión Los Ángeles:

Tabla 13: Requisitos para la abrasión Los Ángeles según norma ASTM C-39/C39M-12a

Tipo de hormigón	Abrasión (% máx.)
Hormigones sometidos a la erosión elevada y hormigones arquitectónicos y de obras marítimas.	30
Hormigones sometidos a desgaste en pavimentos para tráfico vehicular, y peatonal. Hormigones de más de 50Mpa.	40
Otros tipos de hormigones menores de 50Mpa.	50

Fuente: Josué Bolaños

Al analizar la tabla puede observarse que para otros tipos de hormigones menores de 50Mpa el % de desgaste máximo es 50%. Se establece ese valor debido a que en la investigación se procedió a trabajar con un hormigón de 21MPa. Por tanto se llega a la conclusión de que los áridos gruesos de hormigón

reciclado objeto de estudio en esta investigación cumplen con los requisitos exigidos en dicha norma.

Propiedades del hormigón en estado fresco.

Durante el proceso de fabricación del hormigón se tuvo en cuenta sus propiedades en estado fresco: asentamiento por el cono de Abrams.

Para medir el asentamiento de cada mezcla se procedió a utilizar el Cono de Abrams siguiendo los siguientes pasos para su realización:

- Se coloca el cono sobre una superficie plana, rígida y no absorbente, sujetándolo con los pies.
- Con el cucharón se vierte el hormigón fresco en el interior del cono, hasta ocupar aproximadamente una tercera parte de su volumen.
- Acto seguido se apisona 25 veces en toda su superficie con la varilla de acero.
- El cono deberá llenarse en tres capas, las cuales se trabajan cada una como se hizo para la primera capa, solamente al golpear con la varilla la segunda y tercera capa deberá tenerse la precaución de que aquella no penetre mucho en la capa colocada anteriormente.
- Terminado el llenado se enrasa con la misma varilla y se retira toda la mezcla que haya caído exteriormente.
- Después de la operación anterior se quita el molde, para lo cual debe sujetarse por sus asas, se quita los pies de las orejas y se tira hacia arriba verticalmente y de una manera continua.
- Se coloca el cono a un lado de la muestra de hormigón y mediante la varilla y la escala graduada se toma la diferencia de altura.

Ilustración 16: realización del ensayo del cono de Abrams



Fuente: Josué Bolaños

En la tabla 14 aparece representado los valores de asentamiento obtenidos en la medición de cada muestra.

Tabla 14: Valores de asentamiento obtenidos en cada medición

Tipo de muestra de hormigón	Asentamiento sin aditivo (cm)
Hormigón con agregados de hormigón reciclado.	10,00
Hormigón con agregados de hormigón reciclado más bloque.	6,00
Hormigón con agregados de bloque más cerámica.	14,00
Hormigón con agregados de ladrillo más cerámica.	14,00
Hormigón convencional.	14,00

Fuente: Josué Bolaños

Observación: En la tabla 14 se puede observar el hormigón con agregados de hormigón reciclado más bloque es el más bajo, el bloque es una material que absorbe mayor cantidad de agua que el resto, por ello el hormigón reciclado y el hormigón reciclado más bloque tiene el asentamiento más bajo.

El ensayo del cono de Abrams se utiliza para determinar la consistencia del hormigón fresco, que influye considerablemente en su laborabilidad. Además que es un método práctico en obra, controla indirectamente el contenido de agua de las diferentes mezclas de un mismo hormigón, el mismo fue empleado para controlar la consistencia de diseño de las mezclas el cual se fijó en 10 ± 2 cm.

Propiedades del hormigón en estado endurecido.

Cada muestra se compone de varias probetas que se almacenan hasta la edad que se estableció en la investigación para determinar la resistencia a compresión. Todos los moldes de las probetas que componen una muestra se llenaron al mismo tiempo. La compactación del hormigón dentro de los moldes se realizó por la ISO 1920-3:10 Ensayos al hormigón –Parte 3: Elaboración, compactado y curado de probetas para ensayos.

Para el llenado de cada molde se realizó el proceso siguiente:

- Se colocó el molde previamente engrasado en un sitio en el que no se producía vibraciones, permaneciendo 24 horas sin que se moviera; y luego se comenzó a verter el material.

Ilustración 17: Relleno de moldes



Fuente: Josué Bolaños

- Para la compactación se utilizó un vibrador.

Ilustración 18: vibrado del hormigón



Fuente: Josué Bolaños

- Después de lleno el molde se enrasó con la pala, quedando la superficie de la probeta lisa.
- Transcurrida las 24 horas se marcó la superficie cilíndrica con la identificación que le correspondía.
- Se colocaron las probetas dentro de unos estanques con agua para su curado.

Ilustración 19: Piezas terminadas



Fuente: Josué Bolaños

Las bases de todas las probetas que se ensayan no presentan superficies verdaderamente planas, por lo que siempre hay la necesidad de emparejarla con algún material lo suficientemente resistente y capaz de transmitir las cargas que

se apliquen durante las pruebas. El material utilizado en este proceso fue el neopreno de 50 Shore A (según la ASTM C 1231/C 1231 M: 2006 Hormigón-refrentado de probetas cilíndricas utilizando placas no adheridas). Cualquier material con propiedades elastoméricas, a emplear, deberá satisfacer las especificaciones que se establecen.

Tabla 15: Especificaciones para la utilización de placas de plicloropeno (neopreno)

Resist. a la compresión (MPa)	Valores en el durómetro Shore A	Requiere ensayo de calificación	Reuso máximo de la placa
10-40	50	No	100
17-50	60	No	100
28-50	70	No	100
50-80	70	Requeridos	50
Mayor de 80	-	No se permite	-

Fuente: Josué Bolaños

Observación: Como el rango del hormigón estudiado es de 10-40MPa se eligió una placa de neopreno de 50 Shore A.

Para determinar la resistencia a compresión se empleó una prensa marca ZIL tipo P-125

Ilustración 20: Prensa para determinar la resistencia a presión



Fuente: Josué Bolaños

Resultados de cada muestra.

Para el cálculo de la resistencia a compresión del hormigón se utilizó la siguiente fórmula:

$$R'_{bi} = F/A \times (0.1) \text{ (MPa)}$$

Donde:

F: Carga de la rotura (KN);

A: Área de la sección transversal de la probeta (cm²).

A continuación se han graficado los resultados de resistencia a compresión de las probetas de hormigón elaboradas a las edades correspondientes de 24 horas, 7, 14 y 28 días.

Tabla 16: Resultados de la resistencia a compresión hormigon tradicional

Tipo de hormigón	Resistencia promedio (%) a los:		
	7 días	14 días	28 días
Hormigón convencional.	70	88	102

Tabla 17: Resultados de la resistencia a compresión hormigones reciclados

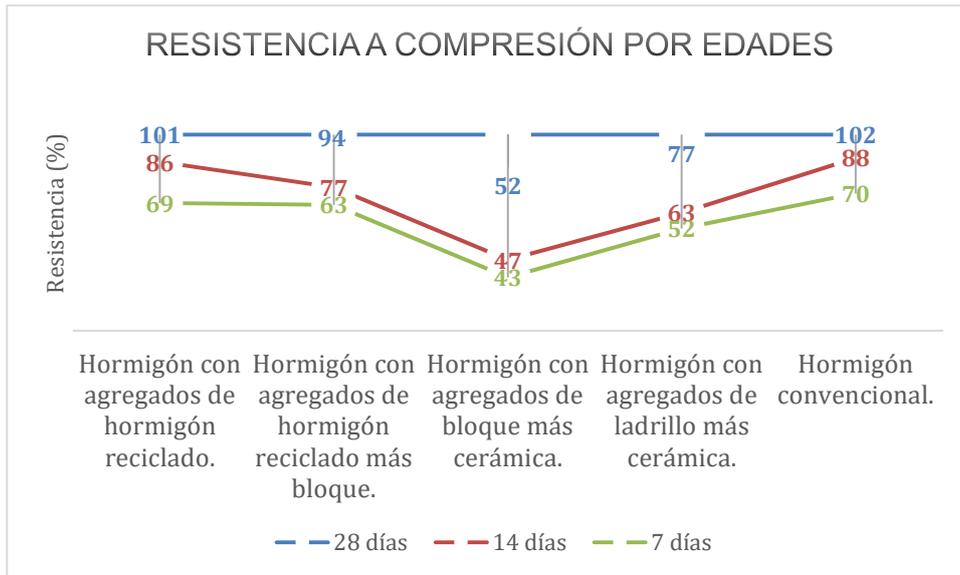
Tipo de hormigón	Resistencia promedio (%) a los:		
	7 días	14 días	28 días
Hormigón con agregados de hormigón reciclado.	69	86	101
Hormigón con agregados de hormigón reciclado más bloque.	63	77	94
Hormigón con agregados de bloque más cerámica.	43	47	52
Hormigón con agregados de ladrillo más cerámica.	55	63	77

Fuente: Josué Bolaños

Obsevaciones: Se puede observar en la tabla 13 que a la mitad de la edad se tiene la resistencia prevista en el diseño adecuado de reutilización del RCA y

en el gráfico 6 se puede apreciar como la resistencia continua aumentando; obteniendo que el árido reciclado de hormigón es utilizable para estos fines prácticos.

Gráfico 6: Resistencia media a compresión a 28 días



Fuente: Josué Bolaños

Se observa que los resultados más alentadores se observan en las mezclas donde se empleó el agregado de hormigón reciclado, obteniéndose resultados muy similares al hormigón convencional.

Valoración económica hormigón reciclado vs. Hormigón tradicional

El costo de elaboración del hormigón depende directamente del valor de los materiales, equipos y mano de obra, al sustituir una parte de agregado grueso por agregado reciclado obtenemos un ahorro económico por m³ que se encuentra entre el 15% - 20% vs el hormigón tradicional.

Tabla 18: Resultado economico hormigon tradicional vs. reciclado

HORMIGON TRACIONAL					HORMIGON RECICLADO			
MATERIALES					MATERIALES			
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
		A	B	C = A x B		A	B	C = A x B
CEMENTO	kg	360,50	0,18	64,89	kg	360,50	0,18	64,89
ARENA	m3	0,65	14,00	9,10	m3	0,65	14,00	9,10
RIPIO TRITURADO	m3	0,95	13,75	13,06	m3	0,67	13,75	9,21
AGUA	m3	0,22	0,85	0,19	m3	0,28	3,75	1,05
					m3	0,22	0,85	0,19
SUBTOTAL				87,24	SUBTOTAL			84,44
					DIFERENCIA			2,80

Fuente: Josué Bolaños

Por la tendencia que se observa en el comportamiento de la resistencia a compresión a los 7 y 14 días, es de destacar, que es posible utilizar el árido de hormigón reciclado, en primera instancia para obtener resultados similares al hormigón convencional y en segunda instancia los agregados de hormigón reciclado más bloques, siendo la mezcla con resultados mas bajos la que agrupa el agregado de bloque y cerámica, que llega a una resistencia de 140 kg/cm² y la mezcla de ladrillo mas ceramica que no llego a la resistencia esperada pero aun asi dio un resulatdo aceptable con una resistencia de 180 kg/cm². Sin embargo las otras mmezclas, al término de los 28 días, alcanzan la resistencia prevista en el diseño de la mezcla. Entonces, es recomendable el uso de los hormigones con agregados reciclado, de cualquiera de las variantes estudiadas, si se pretende solamente alcanzar las mayores resistencias luego de los 14 días de confeccionada y colocada la mezcla, sin embargo para hormigones que requieran resistencias a compresión mayores antes de esa edad se recomiendan los agregados de hormigón reciclado y los agregados de hormigón reciclado más bloque.

Ilustración 21: mediciones del cilindro



Fuente: Josué Bolaños

CAPITULO V

5.1. CONCLUSIONES GENERALES

Después de haber analizado las propiedades físico-mecánica de los áridos gruesos reciclados procedentes de la trituración de paneles no conformes y la elaboración de probetas de hormigón para estimar su calidad, se han arribado a las siguientes conclusiones:

1. Una mala gestión, manejo y acopio de los materiales o residuos de construcción o demolición causan un problema de permanente impacto ambiental negativo, paisajístico y económico.
2. Los áridos de hormigón reciclado al cumplir con las especificaciones físico-mecánicas para su uso, son aptos para elaborar hormigones de 20 MPa con la presencia de ellos hasta un 30% de sustitución del árido grueso natural.
3. La obtención de áridos reciclados aporta múltiples beneficios económicos y medio ambientales facilitando la correcta protección y conservación de los áridos naturales no renovables.
4. La aplicación y uso de estos tipos de hormigones reciclados liberara espacios ocupados por los mismos en botaderos, escombreras etc. Dando de esta manera más espacio para los desechos comunes en estos sitios y poder tener un mejor manejo y control.
5. Con la aplicación de un sistema de clasificación y trituración adecuada pueden obtenerse áridos de buena calidad con una granulometría adecuada para ser utilizados en la fabricación de hormigones con diferentes calidades.
6. Para potenciar la obtención y aplicación de áridos reciclados en la fabricación de hormigones, se deberá formular una estrategia para evaluar los áridos reciclados disponibles en los proyectos de construcción para su reutilización.
7. El costo de elaboración del hormigón depende directamente del valor de los materiales, equipos y mano de obra , al sustituir una parte de agregado grueso por agregado reciclado obtenemos un ahorro económico por m³ que se encuentra entre el 20% - 30% vs el hormigón tradicional.

8. Con la aplicación del uso de materiales reciclados en el hormigón se obtiene un ahorro económico adicional indirecto el cual está dentro del valor considerado en desalijos, valores de material pétreo de cantera, tiempos.
9. El uso de hormigones reciclados en especial el de hormigón con agregado de hormigón reciclado es el más apto para elementos estructurales ya que cumple los 20 Mpa.
10. Al adicionar un tercer material reciclado ajeno al de hormigón se obtiene como resultados resistencias más bajas de los 20Mpa.

5.2. RECOMENDACIONES

1. El uso en obra de un método para el manejo y uso adecuado de los residuos de construcción o demolición en cada caso como el método de la deconstrucción.
2. Se recomienda estudiar la sustitución de residuos de hormigón en valores mayores al 30% y de igual manera para hormigones de más de 20 Mpa.
3. Realizar en obra una adecuada disposición, acopio, clasificación de materiales o residuos de construcción.
4. Se recomienda un mayor control en los porcentajes de sustitución y dosificación de agregados por tener una mayor cantidad de pasantes en el tamiz n 200 en los agregados reciclados.
5. El uso de hormigón reciclado que lleve a la resistencia de 210kg/cm² en elementos estructurales sometidos a cargas como son: plintos, cimentaciones, cadenas, columnas, losas, muros etc.
6. El uso del hormigón reciclado más bloque está dentro de las altas resistencias su uso en elementos como: gradas, replantillos, como hormigón ciclópeos, muretes de contención, elementos de una resistencia de 11-12 Mpa.
7. En la mezclas de bloque más cerámica , su uso en detalles arquitectónicos, decorativos y no en elementos estructurales o sujetos a cargas, ya que es un hormigón de baja resistencia como son: hormigones decorativos, detalles arquitectónicos, adoquines, etc.
8. Se recomienda la mezcla de ladrillo más cerámica que lleve a una resistencia de 140-160 kg/cm² su uso como hormigones decorativos o detalles arquitectónicos, féchatelas, adoquines etc. aprovechando su color rojizo.
9. El usos de hormigón reciclado de 20Mpa en edificaciones de no más de 3 pisos por conservar un margen de seguridad como ejemplo planes de vivienda, conjuntos
10. Aplicar el Modelo de Gestión de los RCD no solo en las entidades del MICONS en el territorio, sino a otras con características similares, además

de poner a disposición de la empresa de Servicios Comunes como una herramienta de trabajo para la toma de decisiones.

11. Es necesario la confección de una NC que trate con profundidad el tema de los RCD propiamente como en otros países donde existen normas, regulaciones, decretos, los cuales tratan con profundidad y rigor.
12. El uso de todos estos tipos de hormigones en sus respectivas resistencias en elementos donde el proyectista estructural especifique.
13. No se recomienda su uso para hormigones especiales o de alta resistencia, hormigones hidráulicos, etc.
14. Continuar profundizando en este tema que es de vital importancia para el desarrollo ambiental, social y económico de toda entidad y de la propia municipalidad dedicada a la construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- Alaejos, P. (2008). *Tipos y propiedades de áridos reciclados*. Madrid: CEDEX.
- Andres, P. (2011). *Tipología de Áridos reciclados*. Madrid: CEDEX.
- Asso, F. (1977). Materiales de la Contrucción. *Ciencia y Técnica*, 45-48.
- CEDEX. (2009). *Propiedades físicas de los áridos*. Madrid: CEDEX.
- Díaz Zazo, P. (2009). Prevención de riesgos laborales : seguridad y salud laboral.
En P. Díaz Zazo, *Prevención de riesgos laborales : seguridad y salud laboral*. Madrid: Paraninfo S.A.
- Dirección de Seguridad y Salud en el Trabajo. (s.f.). *Ministerio de Relaciones Laborales*. Recuperado el 8 de Mayo de 2014, de Ministerio de Relaciones Laborales: <http://www.relacioneslaborales.gob.ec/seguridad-y-salud-en-el-trabajo/>
- Fernández, P. L. (2013). *www.monografias.com*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos98/utilizacion-aridos-reciclados-fabricacion-hormigon-hidraulico/utilizacion-aridos-reciclados-fabricacion-hormigon-hidraulico3.shtml>
- Gutierrez, P. (2010). *Tipos y Propiedades de Áridos*. Madrid: CEDEX.
- Henry, M., & Cairns, R. (2004). *The use of recycled rubber tyres in concrete construction*.
- Instituto Brasileño de Administración Municipal. (2006). *Manual de Gestión Integrada de residuos sólidos municipales en ciudades de América Latina y el Caribe*. Río de Janeiro, Brasil: IBAM.
- Lepe, J. (2007). Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida
Reinserción de los residuos de construcción y demolición de la

- construcción en viviendas. *Ingeniería Revista Académica. Universidad Autónoma de Yucatán.*, 11-13.
- Machado, E. (2008). *Gestión de la ciencia y tecnología para el reciclado de los desechos sólidos en la construcción.* Granada: Universidad de Cataluña.
- Magdeburg, J. (1999). *Tipología de Áridos* . Madrid: CEDEX.
- Martín, M., Zamorano, M., & Valverde, I. (2010). *Characterization of recycled aggregates construction and demolition waste for concrete production following the Spanish Structural Concrete Code.* Granada: Department of Civil Engineering.
- Oficina Internacional del Trabajo. (2009). *Normas de la OIT sobre seguridad y salud en el trabajo.* Madrid: International Labour Organization.
- Oikonomou, N. (2005). Recycled concrete aggregates, *Cement & Concrete Composites*, 315-319.
- Pampín, B. (2008). *Residuos de construcción. Situación actual y retos del futuro.* Madrid: Congreso Nacional de Medio Ambiente.
- Páramo, A. (2011). *Trilogía de áridos reciclados en Cataluña y su aplicabilidad.* Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Romo, M. (2008). *Hormigon Armado.* Quito: Escuela Politécnica del Ecuador.
- Romo, M. (2014). *Fundamentos del Hormigón Simple.* Quito: ESPE.
- Rosa, R., & Blanco, R. (2010). *Áridos para hormigón. Especificaciones y ensayos.* La Habana: Editora AGRINFOR.
- Rubio Romero, J. C., & Rubio Gámez, M. d. (2009). Manual de coordinación de seguridad y salud en las obras de construcción. En J. C. Rubio Romero, & M. d. Rubio Gámez, *Manual de coordinación de seguridad y salud en las obras de construcción.* Díaz de Santos.

Sean, J., & Diskov, S. (2007). Feasible use of recycled concrete aggregate and crushed clay brick as unbaund sub-base. *Construction and Building* , 95-112.

Tertre, J. (2007). *Gestión de residuos de Construcción y demolición*. La Habana: Informes de la Construcción.

Vicente, M. (2004). *Los residuos: su uso en la construcción*. Iowa: Universidad del Estado de Iowa.

ANEXOS

ANEXO N° 1



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

TABLA DE RESISTENCIA f'_c / Mpa

The image shows a photograph of a white sign with the title "CARGAS ROTURA" in blue. To the right of the title is a circular logo with a blue and green design. Below the title is a table with the following structure:

f'_c	EDAD	
	7	28
140	9,19	13,73
180	11,82	17,64
210	13,79	20,59
240	15,76	23,52
280	18,39	27,45
350	22,99	34,31

Below the table, the unit "Mpa" is indicated. At the bottom right of the sign, there is a logo for "Quito" and the name "R. J. ANDINO".



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

ENSAYO DE HORMIGONES (BLOQUE MAS CERÁMICA)

**LABORATORIO DE CONCRETOS
ENSAYOS DE CONCRETO A LA COMPRESION
NORMA ASTM C - 39 / C39M - 12 a**

OBRA: Hormigon reciclado SOLICITADO POR: Josue Bolaños N.
 LOCALIZACION: QUITO LABORATORISTA: SAMUEL ANASI
 FISCALIZADOR: REVISADO POR: ING. MARCELO GALLARDO
 HORMIGONERA: FABRICADOS EN LABORATORIO FECHA: 31 de julio de 2015
 REFRENTADO, SOLICITADO: NO ADHERIDO (ASTM C 1231)
 ORDEN DE TRABAJO: RESISTENCIA: 21,0 Mpa

N°	DESCRIPCION ESTRUCTURA	F (mm)	h (mm)	AREA (mm ²)	VOLUMEN (mm ³)	MASA (gr)	P. UNIT. (gr/cm ³)	FECHAS			CARGA (KN)	RESIST. (MPa)	%f ^c	PROM.
								FUNDICION	EDAD	ENSAYO				
001	DISEÑO DE HORMIGON RESIDUOS DE BLOQUE + CERAMICA	150,00	300,00	17671,46	5301438	11211	2,11	17-jul-15	7	24-jul-15	161,2	9,12	43	43
002	DISEÑO DE HORMIGON RESIDUOS DE BLOQUE + CERAMICA	153,00	301,00	18385,39	5534001	10712	1,94	17-jul-15	14	31-jul-15	182,1	9,90	47	47
003	DISEÑO DE HORMIGON RESIDUOS DE BLOQUE + CERAMICA	153,00	302,04	18385,39	5553122	10712	1,93	17-jul-15	28	14-ago-15	199,7	10,86	52	52

RESISTENCIA VS. TIEMPO		
RESISTENCIA		TIEMPO
65%	70%	7 días
85%	90%	14 días
100%	110%	28 días

OBSERVACIONES : MUESTRAS TOMADAS EN LABORATORIO.

ING. MARCELO GALLARDO S.
LP: 175644

ANEXO Nº 3



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

ENSAYO DE HORMIGONES (LADRILLO MAS CERÁMICA)

**LABORATORIO DE CONCRETOS
ENSAYOS DE CONCRETO A LA COMPRESION
NORMA ASTM C-39/C39M-12a**

OBRA: Hormigon reciclado SOLICITADO POR: Josue Bolaños N.
 LOCALIZACION: QUITO LABORATORISTA: SAMUEL ANASI
 FISCALIZADOR: REVISADO POR: ING. MARCELO GALLARDO
 HORMIGONERA: FABRICADOS EN LABORATORIO FECHA: 31 de julio de 2015
 REFRENTADO, SOLICITADO: NO ADHERIDO (ASTM C 1231)
 ORDEN DE TRABAJO: RESISTENCIA: 21,0 Mpa

N°	DESCRIPCION ESTRUCTURA	F (mm)	h (mm)	AREA (mm ²)	VOLUMEN (mm ³)	MASA (gr)	P. UNIT. (gr/cm ³)	FECHAS			CARGA (KN)	RESIST. (MPa)	%f _c	PROM.
								FUNDICION	EDAD	ENSAYO				
001	DISEÑO DE HORMIGON RESIDUOS	150,00	300,00	17671,46	5301438	10751	2,03	17-jul-15	7	24-jul-15	198,5	11,23	53	55
002	DE LADRILLO + CERAMICA	150,00	300,00	17671,46	5301438	10689	2,02	17-jul-15	7	24-jul-15	206,7	11,70	56	
003	DISEÑO DE HORMIGON RESIDUOS DE LADRILLO + CERAMICA	153,00	301,00	18385,39	5534001	10712	1,94	17-jul-15	14	31-jul-15	245,1	13,33	63	63
003	DISEÑO DE HORMIGON RESIDUOS DE LADRILLO + CERAMICA	153,00	301,00	18385,39	5534001	10712	1,94	17-jul-15	28	14-ago-15	297,1	16,16	77	77

RESISTENCIA VS. TIEMPO		
RESISTENCIA		TIEMPO
65%	70%	7 días
85%	90%	14 días
100%	110%	28 días

OBSERVACIONES : MUESTRAS TOMADAS EN LABORATORIO.

ING. MARCELO GALLARDO S.
LP: 175644



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

ENSAYO DE HORMIGONES (BLOQUE MAS HORMIGÓN RECICLADO)

LABORATORIO DE CONCRETOS ENSAYOS DE CONCRETO A LA COMPRESION NORMA ASTM C - 39 / C39M - 12a																												
OBRA: Hormigon reciclado				SOLICITADO POR: Josue Bolaños N.																								
LOCALIZACION: QUITO				LABORATORISTA: SAMUEL ANASI																								
FISCALIZADOR:				REVISADO POR: ING. MARCELO GALLARDO																								
HORMIGONERA: FABRICADOS EN LABORATORIO				FECHA: 31 de julio de 2015																								
REFRENTADO, SOLICITADO: NO ADHERIDO (ASTM C 1231)				RESISTENCIA: 21,0 Mpa																								
ORDEN DE TRABAJO:																												
N°	DESCRIPCION ESTRUCTURA	F (mm)	h (mm)	AREA (mm ²)	VOLUMEN (mm ³)	MASA (gr)	P. UNIT. (gr/cm ³)	FECHAS			CARGA (KN)	RESIST. (MPa)	%f ^c	PROM.														
								FUNDICION	EDAD	ENSAYO																		
001	DISEÑO DE HORMIGON RESIDUOS DE BLOQUES + HORMIGON	150,00	300,00	17671,46	5301438	10514	1,98	17-jul-15	7	24-jul-15	228,1	12,91	61	63														
002	RECICLADO	150,00	300,00	17671,46	5301438	10689	2,02	17-jul-15	7	24-jul-15	241,5	13,67	65															
003	DISEÑO DE HORMIGON RESIDUOS DE BLOQUES + HORMIGON RECICLADO	153,00	300,00	18385,39	5515616	10729	1,95	17-jul-15	14	31-jul-15	295,4	16,07	77	77														
003	DISEÑO DE HORMIGON RESIDUOS DE BLOQUES + HORMIGON RECICLADO	153,00	300,00	18385,39	5515616	10729	1,95	17-jul-15	28	14-ago-15	363,9	19,79	94	94														
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">RESISTENCIA VS. TIEMPO</th> </tr> <tr> <th colspan="2">RESISTENCIA</th> <th>TIEMPO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>65%</td> <td>70%</td> <td>7 días</td> </tr> <tr> <td>85%</td> <td>90%</td> <td>14 días</td> </tr> <tr> <td>100%</td> <td>110%</td> <td>28 días</td> </tr> </tbody> </table>														RESISTENCIA VS. TIEMPO			RESISTENCIA		TIEMPO	65%	70%	7 días	85%	90%	14 días	100%	110%	28 días
RESISTENCIA VS. TIEMPO																												
RESISTENCIA		TIEMPO																										
65%	70%	7 días																										
85%	90%	14 días																										
100%	110%	28 días																										
OBSERVACIONES :				MUESTRAS TOMADAS EN LABORATORIO.																								
ING. MARCELO GALLARDO S. LP: 175644																												



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

ENSAYO DE HORMIGONES (HORMIGÓN RECICLADO)

**LABORATORIO DE CONCRETOS
ENSAYOS DE CONCRETO A LA COMPRESION
NORMA ASTM C - 39 / C39M - 12a**

OBRA: Hormigon reciclado SOLICITADO POR: Josue Bolaños N.

LOCALIZACION: QUITO LABORATORISTA: SAMUEL ANASI

FISCALIZADOR: REVISADO POR: ING. MARCELO GALLARDO

HORMIGONERA: FABRICADOS EN LABORATORIO FECHA: 31 de julio de 2015

REFRENTADO, SOLICITADO: NO ADHERIDO (ASTM C 1231)

ORDEN DE TRABAJO: RESISTENCIA: 21,0 Mpa

N°	DESCRIPCION ESTRUCTURA	F (mm)	h (mm)	AREA (mm ²)	VOLUMEN (mm ³)	MASA (gr)	P. UNIT. (gr/cm ³)	FECHAS			CARGA (KN)	RESIST. (MPa)	%f ^c	PROM.
								FUNDICION	EDAD	ENSAYO				
001	DISEÑO DE HORMIGON RESIDUOS	150,00	301,00	17671,46	5319109	12121	2,28	17-jul-15	7	24-jul-15	248,1	14,04	67	69
002	DE HORMIGON	151,00	300,00	17907,86	5372359	12035	2,24	17-jul-15	7	24-jul-15	269,5	15,05	72	
003	DISEÑO DE HORMIGON RESIDUOS DE HORMIGON	152,00	300,00	18145,84	5443752	12181	2,24	17-jul-15	14	31-jul-15	329,6	18,16	86	86
003	DISEÑO DE HORMIGON RESIDUOS DE HORMIGON	152,00	300,00	18145,84	5443752	12181	2,24	17-jul-15	28	14-ago-15	386,6	21,31	101	101

RESISTENCIA VS. TIEMPO		
RESISTENCIA		TIEMPO
65%	70%	7 días
85%	90%	14 días
100%	110%	28 días

OBSERVACIONES : MUESTRAS TOMADAS EN LABORATORIO.

ING. MARCELO GALLARDO S.
LP: 175644



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

ENSAYO DE HORMIGONES (HORMIGÓN TRADICIONAL)

**LABORATORIO DE CONCRETOS
ENSAYOS DE CONCRETO A LA COMPRESION
NORMA ASTM C - 39 / C39M - 12a**

OBRA: Hormigon reciclado SOLICITADO POR: Josue Bolaños N.
 LOCALIZACION: QUITO LABORATORISTA: SAMUEL ANASI
 FISCALIZADOR: REVISADO POR: ING. MARCELO GALLARDO
 HORMIGONERA: FABRICADOS EN LABORATORIO FECHA: 31 de julio de 2015
 REFRENTADO, SOLICITADO: NO ADHERIDO (ASTM C 1231)
 ORDEN DE TRABAJO: RESISTENCIA: 21,0 Mpa

N°	DESCRIPCION ESTRUCTURA	F (mm)	h (mm)	AREA (mm ²)	VOLUMEN (mm ³)	MASA (gr)	P. UNIT. (gr/cm ³)	FECHAS			CARGA (KN)	RESIST. (MPa)	%f ^c	PROM.
								FUNDICION	EDAD	ENSAYO				
001	DISEÑO DE HORMIGON NORMAL	151,22	312,15	17960,08	5606240	12133	2,16	17-jul-15	7	24-jul-15	258,1	14,37	68	70
002		150,36	318,45	17756,38	5654520	12057	2,13	17-jul-15	7	24-jul-15	266,4	15,00	71	
003	DISEÑO DE HORMIGON NORMAL	152,01	320,01	18148,23	5807614	12154	2,09	17-jul-15	14	31-jul-15	336,5	18,54	88	88
003	DISEÑO DE HORMIGON NORMAL	152,01	320,11	18148,23	5809429	12154	2,09	17-jul-15	28	14-ago-15	389,4	21,46	102	102

RESISTENCIA VS. TIEMPO		
RESISTENCIA		TIEMPO
65%	70%	7 días
85%	90%	14 días
100%	110%	28 días

OBSERVACIONES : MUESTRAS TOMADAS EN LABORATORIO.

ING. MARCELO GALLARDO S.
LP: 175644

