

TRABAJO FIN DE MÁSTER

INGENIERÍA AMBIENTAL

DESARROLLO DE HORMIGONES RESISTENTES AL FUEGO CON ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE UNA PLANTA DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN

Autor: Susan De Los Santos Miranda

Tutor: Carlos Leiva Fernández

Dpto. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Proyecto Fin de Master: Desarrollo de Hormigones Resistentes al Fuego con Áridos Reciclados
Procedentes de una Planta de Residuos de Construcción

Autor: Susan De Los Santos Miranda
Tutor: Carlos Leiva Fernández

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

Como siempre agradezco primero a Dios por nunca dejarme sola.

A mi familia por creer en mí y por siempre sin duda alguna ofrecerme su incondicional apoyo.

A mi tutor Carlos Leiva Fernández por ser mi guía en este proyecto y por todo el apoyo brindado.

A mis amigos y compañeros del master por siempre estar dispuestos a ofrecerme su ayuda.

A todos los que de alguna forma u otra han formado parte de mis estudios y estancia en Sevilla durante todo este año.

Resumen

En los últimos años ha surgido una alta preocupación por los problemas medioambientales y a su vez un gran interés por la sostenibilidad y todo aquello que se considera necesario para remediar el daño que hemos estado causando al medio ambiente a través del paso de los años.

Los residuos de la construcción y demolición (RCD) actualmente representan uno de los mayores problemas de contaminación ambiental, pues el abandono y la mala gestión de los mismos, pueden ocasionar daños importantes sobre el suelo, las aguas, el aire, los seres humanos y, además, contribuir al cambio climático.

El sector de la construcción genera un alto porcentaje de residuos debido a las constantes actividades que este sector demanda, la cantidad excesiva de RCD que se genera a nivel mundial es verdaderamente preocupante, por lo que es necesario controlar de alguna manera la generación excesiva de los mismos o encontrar un uso adecuado para estos residuos una vez ya son generados.

El reciclaje del hormigón supone un importante reto medioambiental, pues este, después del agua, es el material más usado en el mundo. Análisis recientes apuntan cifras de fabricación de millones de toneladas de hormigón al año, lo que equivale a un alto movimiento de camiones de hormigón al día, generando incontroladas toneladas de CO₂ emitidos a la atmósfera.

En España, todavía se recicla muy poca cantidad de RCD, y actualmente existen pocas experiencias significativas de la utilización de áridos reciclados mixtos en hormigones no estructurales.

Con esta investigación se busca obtener una respuesta concreta acerca del desarrollo de hormigones mediante el uso exclusivo de áridos reciclados procedentes de los residuos de construcción y demolición, conocer la capacidad de resistencia a compresión, resistencia al fuego, entre otras características del mismo en su función como hormigón no estructural, y determinar si este realmente puede llegar a cubrir las necesidades para la que es requerido y en su defecto sustituir al hormigón convencional.

Abstract

In recent years, there has been a high concern for environmental problems and at the same time a great interest in sustainability and everything that is considered necessary to remedy the damage that we have been causing to the environment since remote years.

Construction and demolition waste (RCD) currently represents one of the biggest environmental pollution problems, since its neglect and mismanagement can cause significant damage to the soil, water, air, human beings and also contribute to climate change.

The construction sector generates a high percentage of waste due to the constant activities that this sector demands, the excessive amount of RCD that is generated worldwide is truly worrying, so it is necessary to control in some way the excessive generation of waste themselves or find a suitable use for these wastes once they are generated.

Recycling concrete is a major environmental challenge, as this, after water, is the most used material in the world. Recent analyzes point to the manufacture of millions of tons of concrete per year, which is equivalent to a high movement of concrete trucks per day, generating uncontrolled tons of CO₂ emitted into the atmosphere.

In Spain, very little RCD is still recycled, and there are currently few significant experiences of the use of mixed recycled aggregates in non-structural concrete.

This research seeks to obtain a specific answer about the development of concrete through the exclusive use of recycled aggregates from construction and demolition waste, to know the capacity for resistance to compression, resistance to fire, among other properties of the same in its function as non-structural concrete, and determine if it can really meet the needs for which it is required and, failing that, replace conventional concrete.

Índice General

Agradecimientos	i
Resumen.....	ii
Abstract	iii
Índice General	iv
Índice de Tablas.....	vii
Índice de Figuras	viii
Acrónimos	ix
1. OBJETIVO Y ALCANCE	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1 Aspectos Generales.....	2
2.2 Residuos de Construcción y Demolición	3
2.2.1 Problemática	3
2.2.2 Gestión de Residuos.....	4
2.2.3 Tratamiento.....	6
2.2.4 Marco Legal	7
2.2.5 Clasificación de los Residuos	12
2.2.6 Otros Usos y Alternativas	13
2.3 Protección Contra Incendios	13
2.3.1 Protección Activa Contra Incendios	14
2.3.2 Protección Pasiva Contra Incendios	14
2.3.2.1 Reacción al Fuego.....	15
2.3.2.2 Resistencia al Fuego	15
2.4 Protección de Estructuras Metálicas.....	17
2.4.1 Sistemas y Materiales Tradicionalmente Utilizados	18
2.4.2 Reacción Ante Incendios	19
2.5 El Hormigón Reciclado y Su Resistencia al Fuego	21

3. ANTECEDENTES	22
3.1 Áridos Recicladados en Europa	22
3.1.1 Unión Europea.....	22
3.1.2 España	22
3.1.3 Andalucía.....	23
3.2 Necesidad de la Utilización de los Residuos de Construcción.....	23
4. EXPERIENCIAS DE RECICLAJE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN EUROPA.	24
4.1 España	24
4.2 Alemania.....	25
4.3 Países Bajos	26
4.4 Dinamarca	26
4.5 Italia.....	27
5. EXPERIENCIAS DE RECICLAJE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN OTROS PAÍSES DEL MUNDO	28
5.1 México	28
5.2 Colombia	29
5.3 República Dominicana.....	30
5.4 Estados Unidos	30
5.5 Brasil.....	30
5.6 Japón	31
5.7 Cuba.....	32
6. HORMIGÓN DE USO NO ESTRUCTURAL RECICLADO.....	33
6.1 Generalidades	33
6.2 Tipos de Áridos Recicladados	33
6.2.1 Áridos Procedentes de Residuos de Hormigón.....	33
6.2.2 Áridos Procedentes de Residuos Cerámico.....	34
6.2.3 Áridos Procedentes de Materiales Mixtos	35
6.3 Propiedades del Hormigón Reciclado	35
6.3.1 Propiedades del Hormigón reciclado Procedente de áridos Recicladados de Hormigón	35
6.3.2 Propiedades del Hormigón Reciclado Procedente de Áridos Recicladados Mixtos (Cerámicos y Hormigón).....	36
7. EXPERIENCIAS DEL USO DE HORMIGÓN RECICLADO.....	37
7.1 Procedente de Áridos Recicladados de Hormigón.....	37

7.2	Procedente de Áridos Reciclados Mixtos	38
8.	CONCLUSIONES	40
9.	ANEXOS	42
9.1	Glosario de términos	42
9.2	Imágenes de Áridos Reciclados	43
9.3	Imágenes de Residuos de Construcción y Demolición	47
10.	REFERENCIAS.....	50

Índice de Tablas

Tabla 1 Producción de RCD por Comunidad Autónoma	4
Tabla 2 Instalaciones de Gestión de RCD's. Datos del 2009	5
Tabla 3 Impurezas Máximas en el Árido Reciclado	9
Tabla 4 Clasificación Nacional de Reacción al Fuego de los Materiales, Según NBECPI/96 y la Norma Española UNE 23.727:1990 1R.	17
Tabla 5 Equilibrio de Residuos de 2008 en Alemania (Oficina Federal de Estadísticas, 2010)	26
Tabla 6. Coste de 1 Metro Cúbico de Concreto con Agregados Naturales	29
Tabla 7. Coste de 1 Metro Cúbico de Concreto con Agregados Reciclados	29
Tabla 8. Prescripciones del Árido Reciclado Según las Recomendaciones BCSJ.....	31
Tabla 9. Tipos de Hormigón con Áridos Reciclados Según las Recomendaciones BCSJ.....	32
Tabla 10. Características del Árido Reciclado Para la Fabricación del Hormigón Reciclado Utilizado en el Puente de Marina Seca del Fórum 2004 de Barcelona.....	37
Tabla 11. Uso de Hormigón Reciclado en Países Bajos.....	38
Tabla 12. Requisitos que debe cumplir el hormigón reciclado procedentes de áridos reciclados mixtos.....	41

Índice de Figuras

Figura 1. Instalaciones de Gestión de RCD's. Datos del 2009.....	6
Figura 2. Variación de la Resistencia de los Materiales en Función de la Temperatura.....	20
Figura 3. Variación del Módulo de Elasticidad de los Materiales en Función de la Temperatura....	20
Figura 4. Árido Reciclado de Hormigón	34
Figura 5. Árido Reciclado Cerámico	34
Figura 6. Árido Reciclado Mixto	35

Acrónimos

RCD	Residuos de Construcción y Demolición
EHE-08	Instrucción de Hormigón Estructural
CO2	Dióxido de Carbono
RD	Real Decreto
HE	Hormigón Estructural
HNE	Hormigón No Estructural
HL	Hormigón de Limpieza
CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
IHOBE	Sociedad pública de gestión ambiental
BOE	Boletín Oficial del Estado
CSCAE	Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España
UNE	Norma Española
PNIR	Plan Nacional Integrado de Residuos
CONAMA	Consejo Nacional del Medio Ambiente de Brasil
AIRD	Asociación de Industria de la República Dominicana
AOPJA	Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía

1. OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo principal de este proyecto, es desarrollar una nueva alternativa para el uso de los residuos procedentes del área de construcción y demolición, para con esto evitar la acumulación de los mismos en vertederos, y, además, la explotación excesiva de los recursos naturales utilizados en este mercado.

En concreto, con este proyecto se busca minimizar en lo mayor posible, el consumo de materias primas extraídas de la naturaleza que son utilizadas en el sector de la construcción, además la acumulación de residuos en vertederos, con lo que se podrá obtener una disminución significativa de los daños producidos al medio ambiente.

Esta investigación se respalda de bibliografías sobre investigaciones anteriormente realizadas acerca del uso que se le está dando actualmente a los áridos reciclados procedentes del área de la construcción y demolición, enfocándonos en su uso exclusivo en el desarrollo de hormigones reciclados resistentes al fuego.

Cabe destacar que en la actualidad el mayor porcentaje de los residuos procedentes de la construcción y demolición de edificaciones u otras obras ingenieriles, son almacenados en vertederos, por lo que la posible utilización de los mismos para el desarrollo de hormigones, puede generar las siguientes repercusiones:

- Mejora medioambiental debido a la disminución de dichos residuos en vertederos.
- Disminución de los costes de gestión y eliminación de estos residuos.
- Ahorro de espacios para otros residuos que si lo ameriten.
- Mayor y mejor visibilidad en los vertederos.

Además de lo anteriormente mencionado, se quiere con esto, la obtención de materia prima para la preparación de hormigones lo más económicos posible, facilitando la obtención de dichos áridos reciclados para todos.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Aspectos Generales

Desde tiempos remotos, el hombre se ha visto en la necesidad de abastecerse de lo que le ofrece la naturaleza para cubrir así sus necesidades, tanto alimenticias, como la de tener un techo donde vivir, recrearse, entre otras cosas.

La utilización excesiva de los recursos naturales ha sido constante a lo largo del tiempo, lo que ha provocado que el hombre de manera inconsciente deteriore el medio ambiente en el que vive y del cual obtiene los recursos para cubrir sus necesidades.

En la actualidad, existe mayor conciencia de la importancia de la protección del medio ambiente y los posibles impactos asociados a la utilización excesiva de los recursos que este nos ofrece, por lo que somos conscientes de que debemos crear alternativas para reducir dicho consumo al mínimo y una vez obtenidos estos recursos, intentar sacarle el mayor provecho posible.

En el ámbito de la construcción, la generación de residuos en la construcción misma o por demoliciones de obras ya existentes, es en nuestros días, una actividad casi común.

"Se estima que la producción mundial de hormigón genera 1,6 billones de toneladas de CO₂ al año, aproximadamente el 5% de la carga total de dióxido de carbono de la atmósfera" (Structuralia , 2018).

El mayor porcentaje de este tipo de residuos es enviado a vertederos, lo que produce una reducción de espacio en los mismos, además de un limitado control ambiental en los terrenos utilizados para este fin.

Una de las alternativas para evitar la acumulación de estos residuos en vertederos, es el reciclado, sometiendo el desecho de las construcciones y demoliciones, a un adecuado tratamiento, obteniéndose así, lo que hoy día se conoce como áridos reciclados.

Entendiéndose por árido reciclado, al árido obtenido mediante el procesamiento de residuos de construcción y demolición que pueden ser utilizados para aplicaciones no estructurales tales como el relleno de zanjas, nivelaciones, así como también, para la fabricación de hormigón.

"[...] En España la utilización de áridos reciclados para la fabricación de hormigón [...], queda regulada en la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08, dentro del Anejo 15º y 18º. "Recomendaciones para la utilización de hormigones reciclados" (Alaejos & Sánchez, 2015).

2.2 Residuos de Construcción y Demolición

Los residuos de construcción y demolición, son los que se generan en las diferentes obras de construcción, ya sea de remodelación o inicio de la misma, o por el derribo de infraestructuras o edificaciones existentes.

El sector de la construcción es un generador constante de grandes cantidades de residuos, siendo estos en su mayoría, residuos inertes, pero también, otra gran parte de los materiales utilizados en este sector pueden ser tóxicos para el medio ambiente, y peligrosos para su gestión, por lo que se debe hacer una separación previa al depósito en los vertederos o plantas de tratamiento correspondientes.

2.2.1 Problemática

Dentro de las problemáticas que generan estos residuos, se encuentran, el vertido incontrolado, obteniéndose con esto, problemas de ocupación de suelos urbanísticos, tránsito de camiones, impacto visual, corrimientos de tierra, falta de materias primas para el reciclaje, contaminación de suelos, contaminación del agua, contaminación de aire e impactos económicos negativos.

Según M. del Rio (2010) España es el quinto país europeo que genera más residuos de construcción y demolición (RCD), y uno de los que menos esfuerzo realiza para recuperarlos, reciclándose solo una mínima parte de los residuos generados cada año.

En España, la competencia sobre la gestión de los RCD corresponde a las Comunidades Autónomas, a excepción de los RCD procedentes de obras menores, por lo que las Comunidades Autónomas, a la vista de este problema, han redactado planes de gestión de RCD en base a los Planes Nacionales, estableciendo estos como prioritario, prevenir en la medida de lo posible, reutilizar lo que se pueda, reciclar lo que no se pueda reutilizar y valorizar energéticamente todo lo que no se pueda reutilizar o reciclar, siendo el depósito final en vertederos la última opción, la menos satisfactoria.

En la **Tabla 1**, se muestran las toneladas de RCD gestionadas en España, por Comunidad Autónoma, durante el periodo del 2009 – 2013.

Tabla 1
Producción de RCD por Comunidad Autónoma

Producción RCD CCAA	Población	t/año	t/hab/año
Andalucía	8.397.657	2.396.573	0,29
Aragón	1.347.096	642.126	0,48
Asturias	1.079.328	293.152	0,27
Baleares	1.109.140	359.396	0,32
Canarias	2.117.261	482.183	0,23
Cantabria	592.071	105.055	0,18
Castilla y León	2.549.490	862.562	0,34
Castilla la mancha	2.103.579	591.194	0,28
Cataluña	7.530.395	3.340.178	0,44
Valencia	5.113.331	1.937.936	0,38
Extremadura	1.106.226	98.053	0,09
Galicia	2.787.320	542.067	0,19
Madrid	6.465.551	2.552.463	0,39
Murcia	1.465.013	234.300	0,16
Navarra	639.719	243.705	0,38
País Vasco	2.183.979	997.427	0,46
Rioja	322.542	213.443	0,66

Fuente: (Licona David , 2017)

2.2.2 Gestión de Residuos

Las actividades del sector de la construcción, cada vez más generan un importante volumen de residuos, por lo que hasta hace poco fue necesario modificar la gestión que se había estado llevando a cabo con los mismos, o sea, el depósito en vertederos.

En la actualidad, una de las aplicaciones más deseadas en la gestión de residuos de la construcción y demolición, es su reutilización, evitando de esta manera contaminar al medio ambiente y la acumulación de residuos en vertederos.

Para asegurar que los materiales a reciclar sean inertes o no peligrosos, se realiza un proceso de selección, limpieza y separación de los mismos, y posteriormente, de ser necesario, son sometidos a tratamiento, dichos tratamientos son realizados por algunas empresas bajo la autorización de los organismos competentes.

La gestión de residuos de la construcción y demolición en España, está regulada por el RD 105/2008, con la finalidad de establecer un régimen jurídico de la producción y gestión de estos residuos, fomentando la prevención, reciclado y reutilización, además garantizando que aquellos residuos que sean destinados a la eliminación, reciban el tratamiento adecuado.

A continuación, en la **Tabla 2** se muestra el número de plantas de gestión de residuos de construcción y demolición distribuidas en las diferentes Comunidades Autónomas de España. Datos actualizados en el 2009.

Tabla 2

Instalaciones de Gestión de RCD's. Datos del 2009

Plantas de RCD en España	
Andalucía	25
Asturias	4
Aragón	4
Baleares	3
Canarias	3
Cantabria	1
Castilla la mancha	3
Castilla y León	5
Cataluña	31
Extremadura	3
Galicia	5
La Rioja	1
Madrid	12
Murcia	1
Navarra	6
País Vasco	4
Valencia	9
Total	120

Fuente: (CEDEX, 2010)

LEYENDA

- N° de plantas de reciclado
- N° de estaciones de transferencia
- N° de vertederos controlados

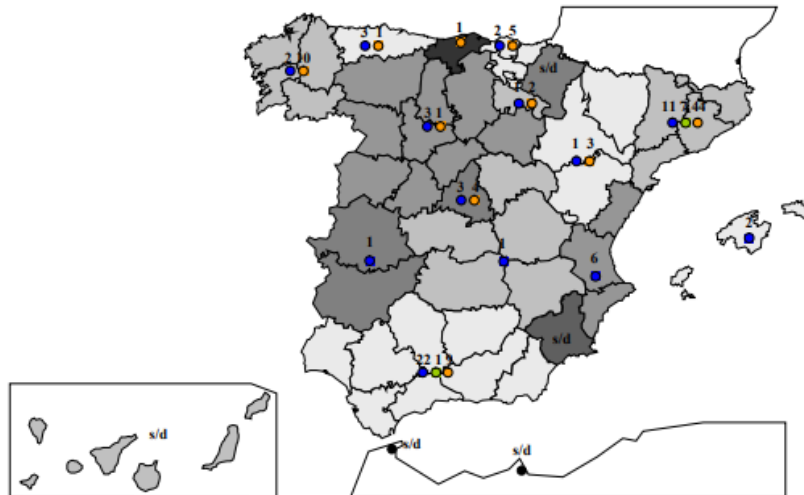


Figura 1. *Instalaciones de Gestión de RCD's. Datos del 2009*

Fuente: (CEDEX, 2010)

2.2.3 Tratamiento

Existen diferentes maneras de tratar los residuos de construcción y demolición, comúnmente conocidas, por orden de prioridad, como preparación para la reutilización, reciclaje y recuperación de material y energía. La elección efectiva de gestión de estos residuos, se realiza de acuerdo a los requisitos normativos, las condiciones medioambientales, económicas, técnicas, entre otros.

En cuanto a la preparación para la reutilización, esta opción, prácticamente es una de las más ventajosas medioambientalmente hablando, debido a que no requiere de ningún procesamiento previo a la reutilización que pueda causar algún impacto negativo sobre el medio ambiente.

Gran parte de los residuos de la construcción y demolición, se reciclan por motivos económicos; algunos de estos materiales, incluso, resultan ser beneficiosos aún más allá del ámbito financiero, como es el caso de reciclaje de materiales como el vidrio, hormigón y yeso; provocando esto la reducción del consumo de materia prima, creación de empleo y la reducción de residuos en vertederos.

Estos materiales pueden reciclarse in situ y ser utilizados como nuevos recursos de construcción o simplemente llevar a cabo el reciclado en un centro de reciclaje.

En el ámbito de recuperación de los materiales, una de las formas de utilizarlos, en el caso de los residuos no peligrosos, es como relleno, lo que puede resultar útil en situaciones puntuales, cuando estos residuos no pueden ser reciclados o reutilizados. Cabe destacar que

antes de estos residuos ser utilizados para relleno, deben ser previamente tratados para evitar generar efectos medioambientales no deseados.

Los residuos de construcción y demolición se pueden separar en obra o enviar directamente a una planta de clasificación. Los que son clasificados en obra y previamente tratados como son los áridos, metales, hormigón, madera, cerámicas, plástico, papel y el cartón, se envían directamente a la planta de reciclado.

Aunque cada vez es más común que los escombros se lleven a un tipo de planta para ser tratados y reutilizados, todavía se pueden ver muchos escombros tirados sin ningún tipo de control, así como también se pueden observar vertederos en los que posteriormente no se realizan ninguna de las funciones propias de una planta de residuos de construcción y demolición, para el aprovechamiento del material y la restauración del terreno.

En cuanto a la utilización del material reciclado por este tipo de plantas, también va creciendo, pero todavía es muy bajo su crecimiento, se le podría dar mucho más uso del que se le está dando actualmente. Dichos materiales cumplen sobradamente las especificaciones técnicas para su uso, son sumamente baratos y normalmente estas plantas donde se almacena el material valorado, están cerca de los núcleos urbanos y de las obras, reduciendo así uno de los principales costes cuando se habla de áridos, el transporte.

2.2.4 Marco Legal

El marco legal en lo que se refiere a la utilización de áridos reciclados en España, viene marcado por la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08. ANEJO 15, ANEJO 18 (Noticias Jurídicas, (s.f.)).

- Normativa Hormigón Estructural

De acuerdo con el Anejo 15, Para su aplicación en hormigón estructural, se recomienda limitar el contenido de árido grueso reciclado al 20% en peso sobre el contenido total de árido grueso. Con esta limitación, las propiedades finales del hormigón reciclado apenas se ven afectadas en relación a las que presenta un hormigón convencional, siendo necesaria, para porcentajes superiores, la realización de estudios específicos y experimentación complementaria en cada aplicación (Noticias Jurídicas, (s.f.)). En el Anejo se dan indicaciones sobre algunas de las propiedades del hormigón que pueden verse afectadas con sustituciones superiores al límite indicado.

En este Anejo se especifica que el árido reciclado puede emplearse tanto para hormigón en masa como hormigón armado de resistencia característica no superior a 40 N/mm², quedando excluido su empleo en hormigón pretensado y quedando fuera de los objetivos de dicho Anejo:

- Los hormigones fabricados con árido fino reciclado.
- Los hormigones fabricados con áridos reciclados de naturaleza distinta del hormigón (áridos mayoritariamente cerámicos, asfálticos, etc.).
- Los hormigones fabricados con áridos reciclados procedentes de estructuras de hormigón con patologías que afectan a la calidad del hormigón tales como álcali-árido, ataque por sulfatos, fuego, etc.

- Hormigones fabricados con áridos reciclados procedentes de hormigones especiales tales como aluminoso, con fibras, con polímeros, etc.

Designación de los áridos

Según se especifica en el Anejo, los áridos reciclados se designarán con el formato que se recoge en el Artículo 28 de la Instrucción, y en el apartado “Naturaleza” se denominarán “R”.

Tamaño mínimo de un árido grueso

El tamaño mínimo permitido de árido reciclado grueso es de 4 mm.

Granulometría de los áridos

Las plantas productoras de árido reciclado consiguen en general una fracción gruesa con un coeficiente de forma, y una granulometría adecuada de acuerdo al uso recomendable para su empleo en hormigón. Los áridos reciclados deberán presentar un contenido de desclasificados inferiores, menor o igual al 10% y un contenido de partículas que pasan por el tamiz de 4 mm no superior al 5%.

El contenido de desclasificados inferiores del árido reciclado suele ser superior al de los áridos naturales, debido a que éstos pueden generarse después del tamizado, durante el almacenamiento y transporte, por su mayor friabilidad. Además, la fracción fina reciclada se caracteriza por presentar un elevado contenido de mortero, lo cual origina unas peores propiedades que afectan negativamente a la calidad del hormigón. Esta es la principal causa de restringir su uso en la aplicación de hormigón estructural.

Requisitos físico-mecánicos

El contenido de terrones de arcilla en hormigón reciclado con un contenido no superior al 20% de árido reciclado, no debe exceder al 0,6%, y el del árido grueso natural al 0,15% según las instrucciones EHE-8, Anejo 15. Por otro lado, si el hormigón reciclado incorpora cantidades de árido reciclado superiores al 20%, se deben tomar las precauciones adecuadas durante su producción para eliminar al máximo las impurezas de tierras que contenga la materia prima, y de esta forma facilitar a que el árido combinado cumpla la especificación de la Instrucción. En el caso extremo de utilizar un 100% de árido grueso reciclado, éste debe cumplir con la especificación máxima del 0,25% de terrones de arcilla.

Condiciones físico-mecánicas

El hormigón reciclado con un contenido de árido reciclado no superior al 20%, deberá tener una absorción por debajo o igual al 7%. Por otro lado, el árido grueso natural deberá tener una absorción no superior al 4,5%.

En hormigones reciclados con más del 20% de árido reciclado, la combinación de árido grueso natural y reciclado debería cumplir la especificación que establece la instrucción, presentando un coeficiente de absorción no superior al 5%. Como control rápido en la planta de producción, que permita estimar la absorción del árido reciclado, se puede realizar un

ensayo de absorción a los 10 minutos, que debería ser inferior a 5,5% para aplicaciones de árido reciclado no superiores al 20%.

Requisitos Químicos

Los áridos reciclados pueden contener impurezas y contaminantes que influyen negativamente en las propiedades del hormigón. Dichos contaminantes pueden ser plástico, madera, yeso, ladrillo, vidrio, materia orgánica, aluminio, asfalto, etc. Estas impurezas producen un descenso significativo en la resistencia del hormigón. Además, y dependiendo del tipo de impureza, se pueden presentar otros problemas como, reacciones álcali-árido causada por el contenido de vidrio, ataque por sulfatos, por contenido de yeso, desconchados superficiales por el contenido de madera o papel, elevada retracción debido al contenido de tierras arcillosas, o mal comportamiento hielo-deshielo por algunos cerámicos, por lo que se establecen contenidos máximos de impurezas en los áridos reciclados.

A continuación, en la **Tabla 3** se muestra el contenido máximo de impurezas de algunos de los elementos involucrados en áridos reciclados.

Tabla 3

Impurezas Máximas en el Árido Reciclado

Elementos	Max. Contenido de impurezas. % del peso total de la muestra
Material cerámico	5
Partículas ligeras	1
Asfalto	1
Otros materiales (vidrio, plástico, metales, etc.)	1

Fuente: (Noticias Jurídicas, (s.f))

Elaboración y puesta en obra del hormigón

Instalaciones de Dosificación

De acuerdo con el artículo 71 del Anejo, la absorción de agua del árido grueso reciclado es elevada, por lo que para hormigones con más del 20% de árido reciclado se aconseja utilizar los áridos en condiciones de saturación. Para mantener la humedad, se pueden instalar en las plantas de dosificación, sistemas que humedezcan los áridos en las cintas transportadoras, o aspersores de agua en las tolvas de los áridos.

Fabricación del Hormigón

En el Anejo se recomienda que el hormigón con árido reciclado se fabrique en una central amasadora.

Dosificación de Materiales Componentes

En hormigones reciclados con un porcentaje de áridos reciclados no superior al 20%, se pueden aplicar los mismos métodos de dosificación utilizados en hormigones convencionales. En cualquiera de los casos el Anejo recomienda que se realicen previamente ensayos para ajustar la dosificación.

Para obtener la resistencia y durabilidad del hormigón reciclado con un contenido de árido reciclado superior al 20%, igual a la del hormigón convencional a base de áridos naturales, el Anejo especifica que el hormigón fabricado con áridos reciclados requerirá un mayor contenido de cemento o una menor relación agua/cemento en la dosificación. Por otro lado, especifica que, para conseguir la consistencia deseada, suele ser necesario añadir más agua a la dosificación para compensar la mayor absorción del árido reciclado. Otras posibilidades pueden ser utilizar aditivos plastificantes o superplastificantes en la dosificación o pre-saturar el árido reciclado.

Control del Hormigón Previo al Suministro

La experiencia en la dosificación del hormigón convencional no es de aplicación directa en el hormigón reciclado, por lo que los ensayos previos resultan muy recomendables. Así, estos ensayos deben servir para analizar la viabilidad y conveniencia de pre-saturar el árido previamente a su utilización. En la realización de estos ensayos se debe ajustar el proceso y el grado de saturación a alcanzar para reducir la variación de la consistencia entre amasadas.

Para asegurar que la resistencia característica del hormigón reciclado en obra sea la adecuada, el Anejo recomienda que sea algo superior a la que se espera obtener en un hormigón convencional, teniendo en cuenta el aumento en la dispersión de resultados derivada de la falta de uniformidad del árido reciclado empleado. Por tanto, se recomienda que en la realización de ensayos se utilicen áridos reciclados de diferentes calidades dentro de los límites admisibles.

En elementos especialmente sensibles a la deformación, o cuando se utilicen porcentajes de árido reciclado por encima del 20%, resulta conveniente incluir en el conjunto de los ensayos aquellos que determinen propiedades tales como el módulo de elasticidad, la retracción o la fluencia del hormigón.

Durabilidad del Hormigón

Como se mencionó anteriormente, la durabilidad del hormigón reciclado con un porcentaje de árido reciclado no superior al 20% es similar a la que presenta un hormigón convencional. Sin embargo, la mayor porosidad del árido reciclado hace al hormigón reciclado que lo incorpora más susceptible a sufrir los efectos del ambiente, por lo que se deberán tomar medidas especiales cuando se utilice en ambientes agresivos y en porcentajes superiores al

20%. Este comportamiento deberá tenerse en cuenta en la dosificación de la mezcla, mediante un incremento en el contenido de cemento o una disminución de la relación agua/cemento. Otra posibilidad es aumentar el recubrimiento de las armaduras necesario en determinados ambientes agresivos.

Por otro lado, El Real Decreto 105/2008 de 1 de febrero (BOE, 2008), tiene por objeto establecer el régimen jurídico de la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición, con el fin de fomentar, por este orden, su prevención, reutilización, reciclado y otras formas de valorización, asegurando que los destinados a operaciones de eliminación reciban un tratamiento adecuado, y contribuir a un desarrollo sostenible de la actividad de construcción.

El problema ambiental que plantean estos residuos se deriva no solo del creciente volumen de su generación, sino de su tratamiento, que todavía hoy es insatisfactorio en la mayor parte de los casos. En efecto, a la insuficiente prevención de la producción de residuos en origen se une el escaso reciclado de los que se generan. Entre los impactos ambientales que esto provoca, cabe destacar la contaminación de suelos y acuíferos en vertederos incontrolados, el deterioro paisajístico y la eliminación de estos residuos sin aprovechamiento de sus recursos valorizables. Esta grave situación debe corregirse, con el fin de conseguir un desarrollo más sostenible de la actividad constructiva (BOE, 2008).

Por lo anteriormente dicho, existe un consenso general de todos los sectores afectados sobre la necesidad de disponer de una normativa básica, específica para este tipo de residuos, donde se deben establecer los requisitos mínimos de la producción y gestión de los mismos, con el objetivo de promover su prevención, reutilización, reciclado, valorización y el adecuado tratamiento de los destinados a eliminación.

- **Normativa Hormigón de Uso No Estructural**

De acuerdo a lo especificado en el Anejo 18, se define como hormigones de uso no estructural, aquellos hormigones que no aportan responsabilidad estructural a la construcción pero que colaboran en mejorar las condiciones durables del hormigón estructural o que aportan el volumen necesario de un material resistente para conformar la geometría requerida para un fin determinado (Noticias Jurídicas, (s.f)).

Este Anejo especifica que, para la fabricación del hormigón reciclado de uso no estructural, pueden emplearse arenas y gravas rodadas o procedentes de rocas machacadas, o escorias siderúrgicas apropiadas, también podrá utilizarse hasta un 100% de árido grueso reciclado, siempre que éste cumpla las especificaciones definidas para el mismo en el **ANEJO 15** de la Instrucción EHE-08. En el caso de que haya evidencia de su buen comportamiento, de acuerdo con el artículo 28º de dicha instrucción, podrán emplearse escorias granuladas procedentes de la combustión en centrales térmicas como áridos, siempre que cumplan las mismas especificaciones que contempla el articulado para los áridos siderúrgicos.

En cuanto a los aditivos y de acuerdo con el anejo en cuestión, los hormigones de uso no estructural se caracterizan por poseer bajos contenidos de cemento, por lo que resulta conveniente la utilización de aditivos reductores de agua al objeto de reducir en lo posible la estructura porosa del hormigón en estado endurecido.

Características de los Hormigones de Uso No Estructural

- Hormigón de Limpieza (HL)

El único hormigón utilizable para esta aplicación según el Anejo 18, se tipifica de la siguiente manera:

HL-150/C/TM

Como se indica, la dosificación mínima de cemento para este tipo de hormigón, será de 150 kg/m³. También se recomienda que el tamaño máximo del árido a utilizar sea menor a los 30 mm.

- Hormigón No Estructural (HNE)

La resistencia mínima de este tipo de hormigón es de 15 N/mm², esto debido a la baja resistencia que requiere este tipo de hormigón y por consiguiente requerirá bajo contenido de cemento.

La tipificación correspondiente a este tipo de hormigón es la siguiente: HNE-15/C/TM y el Anejo recomienda que el tamaño máximo del árido empleado sea inferior a los 40 mm, con el objetivo de facilitar la funcionalidad en obra del mismo.

El control de los componentes en este tipo de hormigón se debe realizar de acuerdo con lo descrito en Anejo 18. Según el artículo 85º de esta Instrucción y el control de la consistencia, al menos una vez al día o con la frecuencia que se indique en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o por la Dirección de Obra. Con independencia de este control reglamentario, en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares podrán establecerse criterios de control de la resistencia de estos hormigones (Noticias Jurídicas, (s.f)).

2.2.5 Clasificación de los Residuos

En España, específicamente en la comunidad de Madrid, los residuos de la construcción y demolición se clasifican de la siguiente manera:

Residuos de la construcción y demolición de **Nivel I**: residuos generados por el desarrollo de grandes obras de infraestructuras de ámbito local o supramunicipal contenidas en los diferentes planes de actuación urbanística o planes de desarrollo de carácter regional, siendo resultado de los excedentes de excavación de los movimientos de tierra generados en el transcurso de dichas obras (Del Rio, C., & Mercedes e Izquierdo, (s.f)).

Residuos de la construcción y demolición de **Nivel II**: residuos generados principalmente en actividades propias del sector de la construcción, de la demolición, de la reparación domiciliar y de la implantación de servicios (abastecimiento y saneamiento, telecomunicaciones, suministro eléctrico, gasificación y otros) (Del Rio, C., & Mercedes e Izquierdo, (s.f)).

2.2.6 Otros Usos y Alternativas

La gestión y valorización de los residuos provenientes de la construcción y demolición, se hace a través de una planta de residuos de construcción y demolición, las actividades básicas que se realizan en dicha planta; valorización del residuo, separación y tratamiento del mismo, con el objetivo de su aprovechamiento, están reguladas por el RD 105/2008 como se ha mencionado anteriormente.

La opción de aprovechamiento de los residuos de la construcción es amplia, pues, además de los residuos que se está acostumbrado a tratar, como el vidrio, la madera, etc., si se realiza una apropiada gestión de estos residuos, se puede aprovechar casi todo, salvo los residuos considerados peligrosos, los cuales deben ser tratados en plantas cualificadas para dicho fin.

El asfalto triturado, por ejemplo, sirve como sub-base y para la rehabilitación de caminos, los ladrillos, y demás materiales cerámicos machacados, se utilizan para rellenos como sub-base y rehabilitación de caminos rurales.

La mayoría de los estados de los Estados Unidos, utilizan agregados de concreto reciclado para sub-bases viales.

En Tailandia, por ejemplo, algunos de los residuos de concreto, se utilizan en productos prefabricados para proyectos comunitarios.

Por otro lado, en Colombia, los materiales productos de la excavación son reutilizados en el mismo proyecto en diferentes actividades, como en relleno de los pilotes, relleno de algunas zonas, etc.

2.3 Protección Contra Incendios

En términos generales, un incendio se define como un fuego de altas proporciones, que destruye aquello cuyo destino no era quemarse.

Considerando que toda edificación, obra civil e instalaciones en general, deben reunir ciertas condiciones de seguridad, surge la necesidad de contar con una estructura que defina la protección contra incendio en función del riesgo que presenta cada edificio en particular, obteniéndose así, soluciones que permitan una adaptación de la seguridad. En pocas palabras, la protección contra incendios se denomina como un conjunto de medidas que se disponen en las edificaciones para protegerlos de la acción del fuego.

La protección contra incendios comprende un conjunto de normas destinadas, sobre todo, a evitar que se produzca algún incidente de este índole, siendo los objetivos principales que se persiguen con esta disposición, en primer lugar, que el incendio no se produzca, y si se produce, asegurar la evacuación de las personas, evitar la propagación del fuego y los efectos de gases tóxicos que este pueda causar, la facilidad del trabajo de control del fuego y su extinción, y, por último, que como consecuencia del incidente, no se produzcan daños irreparables.

Las edificaciones, requieren de tres tipos de protección contra incendio: la protección preventiva, la protección pasiva contra incendios y la protección activa contra incendios.

En la protección preventiva, se analizan los riesgos de incendios que se podrían provocar por las diferentes actividades y las características fundamentales de los ambientes donde se realizan dichas actividades. También se estudian los materiales que pueden ser embestidos por el fuego y den origen a incendios.

La protección pasiva contra incendios, se encarga de asegurar la evacuación de las personas en caso de producirse un incendio, impedir que se expandan gases tóxicos y garantizar la integridad estructural de la edificación.

Por otro lado, la protección activa contra incendios, está destinada a facilitar los trabajos de control del fuego y su extinción.

Investigaciones científicas sobre la propagación del fuego y los métodos adecuados para su prevención y control, están basadas fundamentalmente en las experiencias adquiridas en intervenciones de casos reales y la experimentación en laboratorios. Esto, debido a un sin número de variables que intervienen y dificultan el tratamiento de manera general. Algunas de estas variables son las siguientes:

Naturaleza del Combustible: estado físico, poder calorífico, temperatura del combustible, disposición del material, etc.

Naturaleza del Lugar: dimensiones, disposición de aberturas, material intrínseco, etc.

Condiciones del Ambiente: presión, temperatura, humedad, viento, etc.

2.3.1 Protección Activa Contra Incendios

La protección activa contra incendios es el conjunto de equipos y sistemas instalados para advertir sobre un posible incendio o un incendio levemente iniciado e impedir que este se expanda, evitando con esto daños tanto humanos como materiales, provocados por el fuego.

El objetivo principal de la protección activa es la extinción del incendio, a diferencia de la protección pasiva, que tiene como objetivo parar o controlar el fuego. Dentro de los sistemas tomados en cuenta para evitar un incendio o prevenir que este se propague, se encuentran:

- Sistemas de detección y alarma de incendios
- Sistemas de hidrantes contra incendios
- Extintores de incendios
- Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios
- Sistemas de columna seca

2.3.2 Protección Pasiva Contra Incendios

El trabajo de ingeniería en el ámbito de seguridad, comienza en la fase de cualquier proyecto y los requisitos de protección contra incendios son de gran importancia para la disposición y trazado de los mismos. A nivel global, debe tenerse en cuenta tanto la parte interior como exterior del proyecto en cuestión.

La protección pasiva contra incendios se refiere a un conjunto de elementos constructivos diseñados específicamente para eludir el inicio del fuego, o en dado caso, evitar que el fuego se propague y cause mayores daños.

Las normativas vigentes para la protección pasiva contra incendios, tiene como objetivo, entre otras cosas, facilitar la evacuación de las personas, y, a la vez, garantizar el control del fuego. Es por esto, que esta normativa es muy estricta y clara, exige una serie de ensayos a los productos utilizados, con el fin de demostrar su resistencia ante este tipo de incidentes.

El comportamiento de los materiales constructivos ante el fuego, se determina por medio de dos puntos de vista; su reacción y resistencia frente al fuego.

2.3.2.1 Reacción al Fuego

La reacción al fuego comprende el comportamiento de los materiales en relación a su contribución en la iniciación, desarrollo y mantenimiento del fuego, o sea, las temperaturas de inflamación, la propagación de las llamas, la generación de humos y gases tóxicos, etc.

En los ensayos de reacción al fuego, se somete el material a una llama controlada con el objetivo de provocar la emanación de gases inflamables, y con esto, comprobar el desarrollo de la combustión en el propio material.

En España, la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos, en función de sus propiedades de reacción y resistencia frente al fuego, queda expuesta en el Real Decreto 842/2013 del 31 de octubre.

2.3.2.2 Resistencia al Fuego

La resistencia al fuego se refiere a la determinación del tiempo en el que los materiales constructivos conservan sus cualidades funcionales, dentro de las cuales, interesa en su mayoría, su resistencia a la fisura, resistencia mecánica, el gradiente térmico, etc.

Dentro de las propiedades que definen la resistencia al fuego se destacan:

- Las estructuras metálicas
- La integridad de las estructuras
- El aislamiento térmico

La resistencia al fuego está relacionada con la probabilidad de que el incendio no se extienda a otro local o lugar distinto de donde inició. Los elementos de hormigón tradicionales, es probable que empiecen a perder sus características mecánicas de manera rápida a partir de 400 grados Celsius.

Funcionalidades de la Resistencia al Fuego

La resistencia al fuego tiene como función establecer mediante dos objetivos básicos, el grado de protección más razonable, a continuación, se detallan estos objetivos:

- **Compartimentación:**

Una vez iniciado el incendio, este debe tratar de mantener el espacio máximo de la edificación, subsectorizado o no, delimitado como lo especifica la norma, con sus puertas y ventanas correspondientes, dependiendo del uso del edificio.

- **Sustentación**

Esta tiene como objetivo principal, el desarrollo de sistemas que permitan la seguridad estructural del edificio durante el desarrollo del incendio, con esto se consigue ganar tiempo para evitar el hundimiento de la edificación.

La resistencia al fuego es la última fase del incendio, una vez producido el mismo, dentro de sus objetivos, además de los anteriormente mencionados, están, el de proteger las salidas de emergencias y permitir la acción de la brigada de salvamento, esto quiere decir que **el tiempo que los elementos constructivos son capaces de soportar el incendio**, se traduce en tiempo de intervención y evacuación por parte de las brigadas de emergencias.

Mecanismos Básicos Para la Evaluación Mediante Ensayo de la Resistencia al Fuego

Existen dos mecanismos básicos para este tipo de evaluación:

- **Fuego Tipo Normalizado**

El fuego tipo normalizado, comúnmente llamado curva de exposición, se desarrolla a partir de conocimientos establecidos sobre las etapas del incendio, de los factores de rigor del incendio previamente visto.

- **Duración Equivalente**

La duración equivalente deduce el período de tiempo que abarca el fuego normalizado y que proporciona los mismos daños sobre el elemento de construcción que ejercerá el incendio real en un área determinada.

Por otro lado, la duración equivalente trata de solucionar las limitantes de aplicabilidad en los resultados obtenidos del ensayo con fuego normalizado, adecuándolo así, a las condiciones de fuego real, o sea, aquel posible a generarse en cualquier área de la edificación.

- **Clasificación de los Productos de Construcción en Función de las Características de Reacción al Fuego**

De acuerdo con CSCAE ((s.f.)) la norma española UNE 23.727:1990 1R y la NBECPI/96, especifican la clasificación de la reacción al fuego de los materiales de la siguiente manera:

Las clases denominadas M0, M1, M2, M3 y M4 indican la magnitud relativa con la que los correspondientes materiales pueden favorecer el desarrollo de un incendio.

M0: material no combustible ante la acción térmica normalizada del ensayo (vidrio, materiales pétreos y cerámicos, metales, yesos, lana de roca, etc.).

M1: material combustible pero no inflamable, lo que implica que su combustión no se mantiene cuando desaparece la aportación de calor desde un foco exterior. (PVC, lana de vidrio, DM, fórmica, barnices ignífugos, etc.).

M2: material con grado de inflamabilidad baja (madera).

M3: material con grado de inflamabilidad media (madera).

M4: material con grado de inflamabilidad alta

A continuación, en la **Tabla 4** se presenta un breve resumen de lo detallado anteriormente sobre la clasificación de reacción al fuego de los materiales, según la norma española UNE 23.727: 1990 1R.

Tabla 4

Clasificación Nacional de Reacción al Fuego de los Materiales, Según NBECPI/96 y la Norma Española UNE 23.727:1990 1R.

Reacción al fuego de los materiales		Características
Clasificación	Combustible	Inflamabilidad
M0	NO	NO
M1	SI	NO
M2	SI	SI / MODERADA
M3	SI	SI / MEDIA
M4	SI	SI / ALTA

Fuente: (CSCAE, (s.f.))

2.4 Protección de Estructuras Metálicas

El acero es un material no combustible que no genera humo ni gases tóxicos al entrar en contacto con el fuego, pero posee una elevada conductividad que hace que el calor se propague de manera muy rápida por el perfil del acero, además pierde sus propiedades mecánicas con temperaturas elevadas. Por todo ello, es necesario proteger estas estructuras contra posibles incendios.

La resistencia al fuego de este tipo de materiales entra en el sistema de protección pasiva contra incendios, ya que el elemento constructivo debe soportar un periodo de tiempo

determinando y evitar que este se propague. Esta se determina sobre estructuras de acero, de acuerdo al tipo de edificación y el uso de la misma.

Para evitar la pérdida de resistencia en estructuras metálicas, en la actualidad se utilizan algunos métodos y materiales aisladores de fuego que se basan principalmente en el recubrimiento de estas estructuras, dentro de estos materiales se encuentran: morteros, paneles y pinturas intumescentes.

2.4.1 Sistemas y Materiales Tradicionalmente Utilizados

Algunos de los sistemas y materiales tradicionalmente empleados en la protección de los elementos estructurales son los siguientes:

- **Pinturas Intumescentes**

Productos que actúan de manera reactiva frente al fuego. Estos pueden ser: pinturas, barnices o revestimientos, los cuales son capaces de generar un aislamiento térmico cuando se produce un aumento significativo de la temperatura.

- **Mortero de Perlita y Vermiculita**

Este es un tipo de mortero seco de grano fino fabricado de forma industrial sobre la base de una roca volcánica tratada, y formulado con diferentes aditivos para mejorar sus características físico-químicas.

- **Lanas Minerales**

Las lanas minerales son productos naturales aislantes. Son materiales incombustibles y tampoco generan aportación alguna de energía calorífica o desprendimiento de humos de combustión.

- **Paneles de Yeso o Fibrosilicato**

Este sistema es principalmente por compartimiento de techos falsos, pantallas cortafuegos, etc. En este tipo de sistemas, se debe prestar atención en el tipo de perfilería necesaria para la instalación.

- **Elementos Mixtos Acero - Hormigón**

De acuerdo con CONSTRUMÁTICA ((s.f)) Entre los elementos mixtos Acero – Hormigón, se encuentran:

Pilares Mixtos

Estos, además del soportado de las cargas realizado por el perfil metálico, el mismo se beneficia de una buena protección térmica. Este tipo de pilares pueden llegar a estar dimensionados para estabildades al fuego que van desde 30 min a 120 min.

Vigas Mixtas

Una de las ventajas de las vigas mixtas consiste en que se minimiza el canto de la viga con la asociación del acero y el hormigón.

Para este caso, la losa de hormigón puede ser maciza u hormigonada in situ, y para aumentar la estabilidad al fuego, se puede recurrir a sobredimensionar la sección. dentro de este tipo de vigas se destacan la de perfiles laminados integrados en el canto de una losa de hormigón, pues este tipo ejerce una resistencia muy buena al fuego a causa de la casi completa envoltura de la viga por el hormigón, en la que tan sólo el ala inferior queda a la vista.

Losas Mixtas

Las losas mixtas están formadas por hormigón y chapas de acero nervadas, y tienen un grado de estabilidad al fuego de 30 minutos sin protección adicional.

2.4.2 Reacción Ante Incendios

El incremento de la temperatura en las estructuras por un incendio, se debe principalmente al flujo de calor por radiación, debido a la diferencia de temperatura de los gases calientes del ambiente y los componentes de la estructura. El acero comienza a perder su resistencia gradualmente a partir de los 300 grados Celsius, es por esto, que las estructuras metálicas deben protegerse minuciosamente de este.

Dependiendo del método de protección contra incendios utilizado, y de la evolución del incendio, la estructura metálica reaccionará de una manera u otra. La autoprotección, por ejemplo, consiste en que el acero logra por sí mismo ser resistente al fuego, mediante un proceso conocido como revestimiento. Por otro lado, en estructuras mixtas, o sea, la unión del acero con otros elementos constructivos, los materiales trabajan de una manera solidaria para resistir el fuego.

Como afirma Valdir Pignatta (Pignatta, (s.f.)) hoy se sabe que la capacidad de resistencia del concreto (EC2, 2004), del acero (EC3, 2005), de estructuras mix-tas (EC4, 2005), de madera (EC5, 2004), de mampostería estructural (EC6, 2005) y de aluminio (EC9, 1998) en situación de incendio se reduce por degeneración de las propiedades mecánicas de los materiales *Figura 2* y *Figura 3* por la reducción del área resistente.

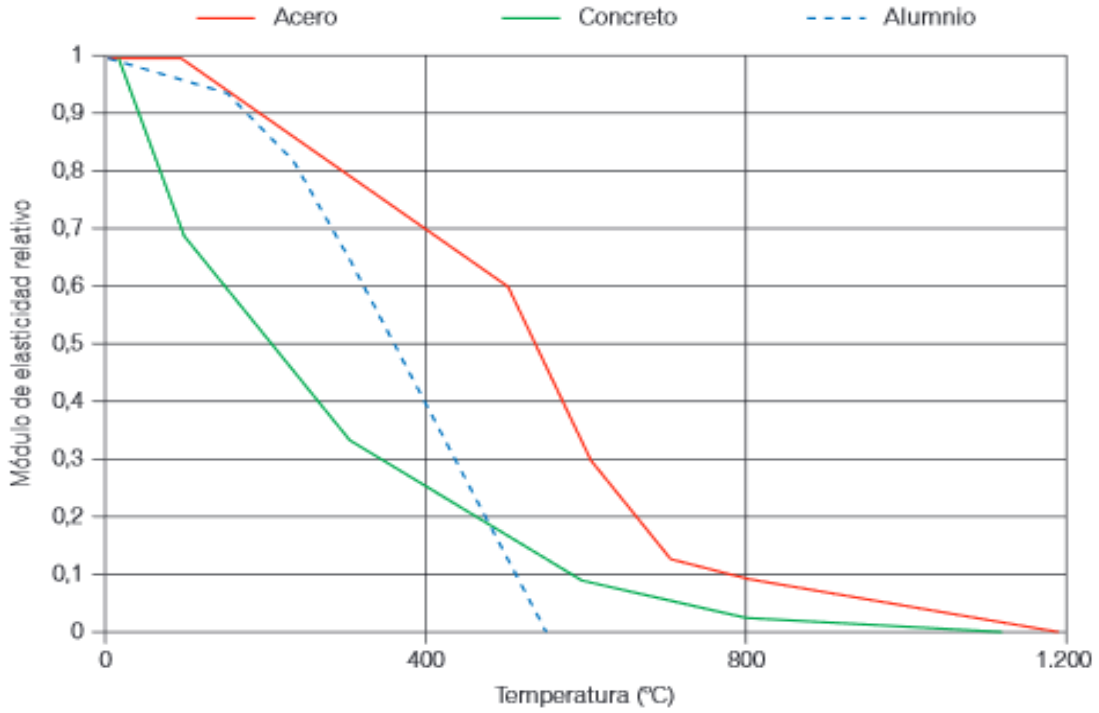


Figura 2. Variación de la Resistencia de los Materiales en Función de la Temperatura

Fuente: (Pignatta, (s.f.))

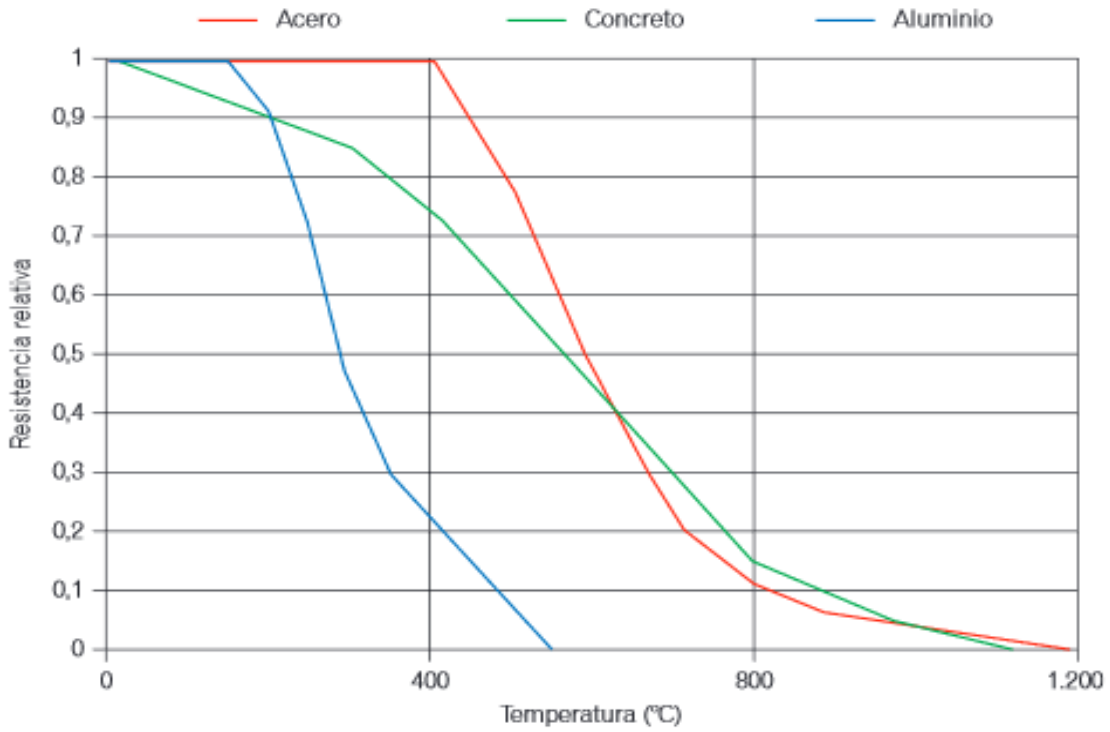


Figura 3. Variación del Módulo de Elasticidad de los Materiales en Función de la Temperatura

Fuente: (Pignatta, (s.f.))

2.5 El Hormigón Reciclado y Su Resistencia al Fuego

A pesar de la existencia de las opciones anteriormente mencionadas sobre protección contra incendios, siempre es bueno encontrar otras alternativas que garanticen cada vez más la seguridad y disminuyan los riesgos tanto para los seres humanos, como para las infraestructuras, una alternativa actual con futuro, es el hormigón reciclado resistente al fuego.

Si bien, de acuerdo con (Jiménez Madrid , (s.f)) el empleo del hormigón convencional en edificios y estructuras proporciona unos niveles excelentes de protección y seguridad en caso de incendio, debido a varios factores:

- El hormigón no arde y no aumenta la carga de fuego.
- Protege eficazmente, proporcionando unos recorridos de emergencia seguros y una protección a los bomberos.
- Tiene una elevada resistencia al fuego y detiene la propagación del mismo.
- No produce humo ni gases tóxicos, contribuyendo a disminuir el riesgo de los ocupantes del edificio.
- Reduce la magnitud del incendio, y con ello también el riesgo de contaminación ambiental.
- El hormigón puede soportar condiciones extremas de fuego, lo que lo convierte en un material excelente para almacenes con una carga elevada.
- No se ve afectado por el agua utilizada para extinguir incendios.
- Los daños generados por un incendio son fáciles de reparar, por lo que ayuda a que se reanuden con rapidez las actividades.
- El hormigón presenta una gran solidez frente al fuego, facilitando la extinción de los incendios y reduciendo el riesgo de colapso estructural.
- En túneles, los pavimentos de hormigón resisten las condiciones extremas que se producen en caso de incendio.

Debido a la alta resistencia al fuego que presenta el hormigón convencional, la protección pasiva contra el fuego que presentaría un hormigón reciclado sería claramente efectiva, pues el mismo está compuesto de árido reciclado que ya contiene compuestos químicamente hidratados, dígase restos de cementos, yeso, etc. que en un incendio son capaces de evaporar el agua, retrasando el calentamiento del acero y aumentando el tiempo que tarda en alcanzar la temperatura en el que el acero pierde sus propiedades mecánicas. Aun teniendo conocimiento de dicha información, se recomienda previamente, en cualquier caso, realizar ensayos de resistencia al fuego.

3. ANTECEDENTES

3.1 Áridos Reciclados en Europa

3.1.1 Unión Europea

La Unión Europea ha alertado a los estados miembros de la Unión y en España en particular sobre la situación del reciclaje de escombros ya que la tasa de reciclaje en este último, era muy inferior con respecto a otros países europeos, en vista de esto, la Unión europea estableció algunos objetivos para elevar el porcentaje de reciclados hasta el 50% del total lo antes posible (Contexto actual del reciclado de los RCDs, (s.f)).

Dentro de los objetivos establecidos por la Unión Europea, se encuentran:

- Mejorar la gestión de los vertederos.
- Responsabilizar al productor de los residuos del coste de su gestión e imponer medidas coercitivas para los residuos no clasificado.
- Disponer de los equipos de clasificación y reciclaje necesarios.

3.1.2 España

Con el objetivo de lograr un desarrollo más sostenible en la actividad constructiva y un mayor respeto por el Medio Ambiente, la administración estatal ha elaborado en los últimos años diversas normativas que regulan el reciclaje de los RCD y fomentan el uso de áridos reciclados, siendo destacable a este el Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición, y los dos Planes Nacionales de Residuos de Construcción y Demolición aprobados, los cuales extendía desde 2001 al 2006 en el caso del primero y desde el 2007 al 2015 en al caso del segundo Plan, incluido éste último como anexo en el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015. Además, se han complementado estas actuaciones con la elaboración de diversas Órdenes Ministeriales, Instrucciones y Pliego de Preinscripciones Técnicas Generales que regulan la aplicación de estos materiales reciclados en obras concretas (Contexto actual del reciclado de los RCDs, (s.f)).

3.1.3 Andalucía

En las Comunidades Autónomas recaen las competencias sobre la elaboración de planes autonómicos de residuos en los que se fijan los objetivos de reducción, reutilización, reciclado, otras formas de valorización y eliminación, así como las medidas a adoptar para conseguir dichos objetivos, como bien establecen los artículos 4 y 5 de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. En relación con las consideraciones de dichos artículos, la administración andaluza elaboró el Plan Director Territorial de Gestión de Residuos no Peligrosos de Andalucía 2010-2019, el cuál propone la estrategia a seguir en Andalucía en ese periodo, en materia de gestión de residuos no peligrosos (Contexto actual del reciclado de los RCDs, (s.f)).

Por otro lado, con el objetivo de facilitar el uso de los áridos reciclados en la construcción, la AOPJA (Consejería de Fomento y Vivienda de la comunidad andaluza (a través de la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía), ha elaborado recientemente el documento “Recomendaciones para la redacción de pliegos de especificaciones técnicas para el uso de materiales reciclados de residuos de construcción y demolición (RCD)”.

3.2 Necesidad de la Utilización de los Residuos de Construcción

Reciclar los residuos de construcción y demolición, permite minimizar el consumo de recursos naturales, así como también disminuir el uso de vertederos para estos fines, y por tanto los daños casi incontrolables que producen estos al medio ambiente.

Desde la revolución industrial, la industria de la construcción asume grandes cambios sobre las técnicas empleadas en la generación de los materiales de construcción hasta ese entonces, y, de estos cambios se obtiene como resultado, un aumento excesivo de la distancia entre los puntos de obtención de materia prima y la ubicación de su elaboración o construcción, el agotamiento de los recursos naturales asequibles, y el incremento de las emisiones contaminantes causadas por esta industria.

Por otro lado, el incremento de la demanda de los materiales de construcción, conllevó a la necesidad de extraer mayor cantidad de materias primas, tanto para su consumo directo, como para la fabricación de nuevos materiales, entre otros.

No obstante, el reto a superar por la industria de la construcción, en cualquiera de sus tipologías, sigue siendo fundamentalmente el empleo de materiales de construcción de bajo impacto ambiental, dado que son estos los que más repercuten sobre el medio natural, sin descartar otros impactos relacionados con el consumo de energía o los residuos (Arenas, (s.f.)).

4. EXPERIENCIAS DE RECICLAJE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN EUROPA

4.1 España

España es el quinto país europeo que genera más residuos de construcción y demolición (RCD), y uno de los que menos esfuerzos realiza para recuperarlos según el informe Symonds & Ass. Este informe indica que el 90% de los 13 millones de toneladas de materiales inertes que se generan cada año, acaban en vertederos y sólo un 5% se recicla (del Rio, La regulación jurídica de los residuos de construcción demolición (RCD) en España. El caso de la comunidad de Madrid , 2010).

Resultando como ejemplo a País vasco, comunidad autónoma del norte de España, la cantidad de residuos de construcción y demolición que se genera, se estima que se sitúa entre 1 millón y 1,5 millones de toneladas al año (IHOBE, (s.f)).

De acuerdo a lo estimado anteriormente, potenciar el reciclaje de los residuos de construcción y demolición en España, figura como el mecanismo más importante para una buena gestión de dichos residuos. Siendo el resultado obtenido de aplicación inmediata para su uso en bases y sub-bases de carreteras, fabricación de hormigón no estructural, entre otros procesos del área de la construcción.

En las últimas décadas, el incremento de la construcción en España, ha generado como consecuencia un gran aumento en la generación de residuos de construcción y demolición, por lo que se planteó la necesidad de gestionar dichos residuos.

A pesar del aumento en la sociedad de la concienciación sobre el cuidado al medio ambiente y la necesidad de reciclar, los residuos de construcción y demolición todavía se siguen depositando en vertederos en gran cantidad, esto debido a las bajas tasas de vertido, lo que, de seguir así, resultaría incontrolable en días futuros.

Por otro lado, y aun teniéndose registros de los datos mencionados anteriormente, según el informe de producción y gestión de residuos de construcción y demolición en España, realizado en el período 2011-2015, la producción de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición, coloca a España como uno de los países a nivel mundial más avanzados tecnológicamente en cuanto al tratamiento de los mismos.

En España los mercados potenciales existentes para la venta de materiales resultantes del reciclado de residuos procedentes de construcción y demolición son:

- Bases y sub-bases para firmes de carreteras de segundo orden, urbanizaciones y polígonos industriales.
- Áridos o residuos de ladrillos para drenajes, rellenos de zanjas y firmes de caminos.
- Áridos o residuos de ladrillos para lechos de patios y azoteas.
- Áridos para hormigones de uso no estructural.

Además, existe un mercado emergente en cuanto a:

- Residuos de chatarra férrica
- Vidrio
- Materiales nobles de la construcción y carpintería (cercos, rejas, portones, ventanas, marcos, etc.)
- Piedra labrada, fundamentalmente granito y basalto (adoquines, bordillos, losas, jambas, dinteles, etc.)

4.2 Alemania

Según la guía española de áridos reciclados, el desarrollo del reciclaje de residuos de construcción y demolición en Europa, inicia en Alemania a principios del 1980 con las primeras guías técnicas de áridos reciclados, pero no es hasta el año 1993 que se reconoce y regula oficialmente la utilización de los áridos reciclados en las obras públicas de Alemania (GERD, 2018).

Después de la segunda guerra mundial, Europa quedó devastada y principalmente Alemania se vio muy afectada y antes esta situación, ya que se vio obligada a enfocar el desarrollo de su legislación para la gestión de los residuos de construcción y demolición hacia el uso de materiales reciclados en las nuevas construcciones.

La ley para la gestión de residuos de la construcción y demolición en Alemania, está basada en la ley de la Unión Europea, las leyes de los gobiernos generales, entre otros.

A finales del 2007, alrededor de 250,000 personas en Alemania trabajaron en la gestión de residuos, siendo la facturación anual de este sector de más de 50 millones de euros, lo cual es el resultado de las políticas alemanas enfocadas al reciclaje creando así la cultura del reciclaje de residuos y una nueva actividad económica. (García, 2014)

Como se observa en la **Tabla 5**, para el 2008 en Alemania la mayoría de los RCD recuperados fueron dispuestos para su reutilización, evitando así, el consumo de gran cantidad de energía en los diferentes procesos de transformación. En cuanto a su disposición final, la mayor parte de los residuos fueron enviados a tiraderos y sólo una pequeña parte de éstos fueron incinerados.

Tabla 5*Equilibrio de Residuos de 2008 en Alemania (Oficina Federal de Estadísticas, 2010)*

	RCyD (millones tons)	RESIDUOS PELIGROSOS (millones tons)	RESIDUOS NO PELIGROSOS (millones tons)
Total	200,52	8,49	192,03
Eliminación	24,02	3,71	20,31
En/como Tiradero	22,58	2,67	19,91
Procesos para eliminación	1,29	0,99	0,3
Incineración	0,15	0,05	0,1
Recuperación	176,49	4,78	171,72
De/como Procesos para rehúso	175,67	4,58	171,09
Recuperación de energía	0,82	0,2	0,62
Tasa de recuperación	88%	56%	89%

Fuente: (García, 2014)

En conclusión, la legislación en materia de gestión de los residuos de construcción y demolición en Alemania, es conocida como ciclo cerrado, o sea, aquella que tiene como objetivo la prevención y la recuperación completa de los residuos, y, dicha legislación ha generado grandes frutos y se ha visto como modelo a seguir por otros países, como China y Australia.

4.3 Países Bajos

De acuerdo a Martínez y González (2012) citado en Bernal González (2017), En los países Bajos, en 1988 se emplearon aproximadamente 500 m³ de hormigón reciclado en la construcción de los estribos de un viaducto en la carretera RW 32 cerca de Meppel. En 1990 se construyó un segundo viaducto en esa misma zona. Se utilizó 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.

4.4 Dinamarca

Según el autor CEDEX (2017) citado en Bernal González (2017), Uno de los proyectos más significativos sobre reutilización de escombros de demolición para la fabricación de hormigón tuvo 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 este caso se llevaron a cabo distintas investigaciones sobre técnicas de demolición y utilización del hormigón triturado como árido para uno nuevo. Finalmente, los escombros fueron procesados y empleados en la fabricación de hormigón, que se utilizó para la construcción de “La casa reciclada”, en Odense.

4.5 Italia

En Italia, las normas técnicas para la construcción NTC 2008, (Ministerio de infraestructura 2008) es la que hace referencia a los áridos reciclados que se pueden utilizar en la producción de hormigón.

Para la producción de hormigón resultan adecuados los áridos reciclados que se ajusten a la correspondiente norma europea armonizada EN 12620 (prEN 12620 2013). En cuanto a los requisitos físicos y químicos del árido reciclado, remite a las correspondientes normas UNI 8520-1 y UNI 8520-2, a las que deben ajustarse los correspondientes áridos naturales, en función del uso final y el ambiente de exposición al que será sometido.

5. EXPERIENCIAS DE RECICLAJE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN OTROS PAÍSES DEL MUNDO

5.1 México

En México aún no se recicla una cantidad importante de residuos de construcción y demolición, pese a la importancia del reciclaje de los mismos en la actualidad, y, a la existencia de la Norma Ambiental del Distrito Federal NADFF-007 RNTA-2004, la cual especifica que, en México, estos tipos de residuos deben ser enviados a una planta de reciclaje cuando la generación de los mismos esté por encima de 7 m³. Hasta ahora se considera que es la falta de alternativas tecnológicas para el reciclaje y reutilización de estos residuos, que hacen poco atractiva la posibilidad de que dichos residuos cumplan con los estándares de calidad que les permitan ser competitivos en el mercado.

En México el uso de áridos reciclados se ha estudiado a profundidad a través de diferentes análisis e investigaciones, como una evaluación de factibilidad técnica con el objetivo de evaluar los impactos ambientales que podría causar el reemplazamiento de áridos naturales por áridos reciclados en una mezcla para la producción de hormigón no estructural con una resistencia a compresión de 250 kg/cm². Finalmente, los resultados obtenidos en esa prueba, concluyeron que es factible el uso de áridos reciclados en este tipo de mezclas.

Además de evaluar el impacto ambiental que podría causar el uso de áridos reciclados en lugar del uso de áridos naturales en una mezcla de concreto, en México también ha sido evaluada la factibilidad económica en cuanto al tema se refiere.

A continuación, en las **Tabla 6** y **Tabla 7** se presentan los resultados del comparativo del coste de la fabricación de concreto realizado en la ciudad de México, para una mezcla de dosificación 1:2:3 (cemento: grava: arena), resistencia a compresión de 250 kg/cm² versus una mezcla a base de áridos reciclados con la que se confirma la factibilidad a nivel económico del uso de los áridos reciclados procedentes de los residuos de construcción y demolición en México.

Tabla 6.*Coste de 1 Metro Cúbico de Concreto con Agregados Naturales*

TIPO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO POR UNIDAD (\$)	TOTAL \$	OBSERVACIÓN
Cemento	0.35	Ton	2.400,00	840,00	7 sacos de 50
Agregado	1.75	m3	160,00	280,00	kg c/u \$120
Agua	140	litro	1,26	176,40	
TOTAL	1	m3	1,00	1.296,40	

Fuente: (Betancourt Quiroga, Correa Giraldo, & Betancourt Quiroga, (s.f))

Tabla 7.*Coste de 1 Metro Cúbico de Concreto con Agregados Reciclados*

TIPO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO POR UNIDAD (\$)	TOTAL \$	OBSERVACIÓN
Cemento	0.35	Ton	840,00	294,00	7 sacos de 50
Agregado	1.75	m3	44,00	77,00	kg c/u \$120
Agua	140	litro	1,26	176,40	
TOTAL	1	m3	1,00	547,40	

Fuente: (Betancourt Quiroga, Correa Giraldo, & Betancourt Quiroga, (s.f))

5.2 Colombia

Mientras que en países de Europa como: Países bajos, Bélgica, Dinamarca, entre otros, utilizan los residuos de construcción y demolición como áridos reciclados en diferentes ámbitos, en América Latina las actividades de recuperación están enfocadas principalmente a los residuos sólidos urbanos.

Actualmente, la ciudad de Bogotá, Colombia produce cerca de 15 millones de ton/año de RCD, algo como 2000 kg. Hab./año, cifra realmente alarmante, situándolos incluso por encima de grandes urbes en el mundo y convirtiéndose en uno de los principales problemas que impactan el ambiente de esta ciudad. Por lo anterior, el Distrito ha encaminado sus esfuerzos y recursos con el ánimo de mejorar la gestión de RCD, incorporando normas y regulaciones, aunque con importantes carencias y limitaciones (Gestión de Residuos de Construcción y Demolición en Colombia, (s.f)).

Años atrás, en Colombia no se había pensado en utilizar los residuos de la construcción como agregados debido a la gran cantidad de materias primas disponibles en la ciudad, sin embargo, se comenzó a ver esto de otra manera debido a que algunas investigaciones realizadas en diferentes países del mundo, han demostrado que, utilizando estos residuos como áridos reciclados, se puede sustituir de manera efectiva los áridos naturales, de hecho, en los últimos años en Colombia esto ha motivado la aparición de normas que regulan la

producción y gestión de este tipo de residuos, normas que tienen como objetivo: la reducción de la generación de residuos, la reutilización de aquellos residuos que lo permitan, el reciclado de los residuos que no puedan reutilizarse, la valorización energética de los que no pueden reciclarse y el adecuado depósito en vertederos de aquellos residuos de construcción y demolición que no puedan reciclarse.

5.3 República Dominicana

En la República Dominicana, el aprovechamiento de los residuos de la construcción y demolición, es casi nulo, a pesar de que en otros países es un tema que lleva años en marcha, aún no se ha desarrollado sistemas de reciclaje de estos residuos en Rep. Dom., sin embargo, en los últimos años, la Asociación de Industria de la República Dominicana (AIRD) ha mostrado gran interés en el tema de la gestión de los RCD, convencidos de que el modelo de la economía circular a nivel general y como prioridad en el área de la construcción, aportará significativamente a la competitividad de la economía del país.

En los últimos años, representantes de AIRD y de otras empresas importantes en el mercado de la construcción de Rep. Dom. han estado visitando diferentes países, entre estos Colombia, para adquirir conocimientos del manejo de los RCD en las diferentes instalaciones que en esos países operan actualmente.

Con las experiencias adquiridas en dichos países, Rep. Dom. pretende diseñar un modelo que les permita gestionar satisfactoriamente los residuos de la construcción y demolición y poder aprovechar los mismos en su mayor potencial, evitando con esto la acumulación innecesaria de este tipo de residuos en vertederos y la reintroducción de los mismos en el mercado.

5.4 Estados Unidos

Según Beltrán Ruíz , Camacho González, Palacio León , & Chávez Porras (2014) después de la tragedia del atentado en la ciudad de Nueva York, el 11 de septiembre del año 2001 al World Trade Center - WTC, y los más de 1,2 millones de toneladas de escombros de construcción que se generaron debido a esta tragedia, Estados Unidos crea guías y manuales para los constructores e ingenieros civiles en cuanto a los materiales a utilizar, con el fin de que sea posible reciclar y reutilizarlos, con el propósito de reducir la contaminación en los rellenos y en los suelos del planeta. Según los reportes de la EPA (Agencia que vela por la protección del medio ambiente y la salud de las personas en Estados Unidos), los estados con mayor número de facilidades (que en total suman 1.803) que reciclan ese tipo de materiales son: California (517 Plantas), Arkansas (330 Plantas) y Nueva York (279 Plantas).

5.5 Brasil

En Brasil, la gestión de residuos sólidos se caracteriza por la combinación del sector público con el privado para la realización de los servicios. Al igual que en otros países, los RCD en Brasil, representan casi la mitad del total de residuos sólidos generados a nivel general, debido esta problemática el gobierno de Brasil decide regular la gestión de los RCD.

En el año 2002, el CONAMA (Consejo Nacional del Medio Ambiente) de Brasil, a través de la Resolución 307, establece los primeros criterios, directrices y procedimientos para

gestionar los residuos de la construcción. Dentro de esta resolución se estableció que los residuos reutilizables o reciclables en el área de la construcción, como, la construcción misma, demolición, reforma, etc. Deben ser reutilizados o reciclados para su utilización como áridos reciclados.

5.6 Japón

La utilización de los residuos de construcción y demolición en Japón, comenzó a desarrollarse en el año 1977, impulsado por un comité encargado de la reutilización de los residuos de la construcción que tiene como nombre Building Contractors Society, presidido por Kasai (Martín Morales, 2013). Para el año 1986, se empezaron a publicar las primeras guías de recomendaciones elaboradas por el ministerio de construcción.

Dicho comité no cuenta con un manual de exigencias para la composición de áridos reciclados, lo que permite utilizar cualquier tipo de residuo procedentes del área de la construcción, pero, no obstante a eso, y debido a las exigencias en cuanto a los niveles de densidad que se deben presentar, no es viable un alto uso de áridos procedentes de este tipo de residuos.

A continuación, en la **Tabla 8**, se presenta los valores de densidad permitidos en la composición de áridos reciclados y el resto de los requisitos según las recomendaciones establecidas y el resto de los requisitos exigidos en Japón:

Tabla 8.

Prescripciones del Árido Reciclado Según las Recomendaciones BCSJ

PRESCRIPCIÓN	ÁRIDO GRUESO	ÁRIDO FINO
Densidad mínima de las partículas (kg/m ³)	2200	2000
Absorción de agua máximo (%) Agua	7	13
Pérdidas de sustancias por lavado máximo (%)	1	8
Contenido de sólidos en volumen mínimo (%)	53	1
Contenido de impurezas máximo (kg/m ³) densidad < 1200 (kg/m ³)	2	2
Contenido de impurezas máximo (kg/m ³) densidad < 1950 (kg/m ³)	10	10

Fuente: (Martín Morales, 2013)

Por otro lado, como se observa en la **Tabla 9**, las recomendaciones consideran tres tipos diferentes de posibilidades de hormigones a fabricar según el árido que se utilice y la resistencia a compresión que se consiga.

Tabla 9

Tipos de Hormigón con Árido Reciclado Según las Recomendaciones BCSJ

HORMIGÓN	TIPO DE ÁRIDO		VALOR MÁXIMO RESISTENCIA A COMPRESIÓN (Mpa)	
	GRUESO	FINO	DE PROYECTO	REAL DE OBRA
TIPO I	Reciclado	Natural	18	30
TIPO II	Reciclado	Mezcla	15	27
TIPO III	Reciclado	Reciclado	12	24

Fuente: (Martín Morales, 2013)

5.7 Cuba

En Cuba actualmente no se contempla un desarrollo importante referente al reciclado de los residuos de construcción y demolición, sin embargo, por la necesidad de gestionar los residuos generados en las reconstrucciones de la Habana vieja en el 2007, fue instalada por una constructora llamada "Puerto de Carenas" en colaboración con el país vasco, una pequeña planta para el procesamiento de dichos residuos.

Según Bernal González (2017) se considera que dicha planta tiene una capacidad muy baja de procesamiento con relación a la producción de RCD que se genera en toda la Habana por día, que es de aproximadamente 1200 m³/día. Los productos que se obtienen allí, se utilizan para la producción de diferentes tipos de materiales usados en la construcción, siendo algunos de estos: balaustres y baldosas, además, se han empleado áridos reciclados para morteros en diferentes obras.

Por otro lado, en otros municipios se emplean molinos modulares pequeños para el reciclaje de RCDs a menor escala. Los áridos reciclados obtenidos son utilizados en la producción de bloques de hormigón. Como resultado en Cuba se ha logrado disminuir el costo de producción de dichos productos, así como el impacto ambiental de su proceso productivo.

6. HORMIGÓN DE USO NO ESTRUCTURAL RECICLADO

6.1 Generalidades

Se denomina hormigón reciclado al hormigón que se obtiene como resultado de la mezcla de varios componentes, que, a diferencia del hormigón convencional, incluye un porcentaje de áridos reciclados proveniente de los residuos de construcciones y demoliciones.

Como se mencionó anteriormente en el marco legal, se define como hormigones de uso no estructural, aquellos hormigones que no aportan responsabilidad estructural a la construcción pero que colaboran para mejorar las condiciones durables del hormigón estructural o que aportan el volumen necesario de un material resistente para conformar la geometría requerida para un fin determinado.

6.2 Tipos de Áridos Reciclados

6.2.1 Áridos Procedentes de Residuos de Hormigón

Los áridos reciclados provenientes de residuos de hormigón, se pueden utilizar para la mezcla de hormigón en masa, así como también en hormigón armado y bajo la misma dosificación del hormigón convencional.

En cuanto a las propiedades del hormigón reciclado, según CEDEX (2008) la demanda de agua del hormigón fresco reciclado es inferior a la del hormigón convencional fabricado con gravas naturales (...). En situaciones de hasta el 30% de árido convencional sustituido por árido reciclado, no se altera de forma significativa la resistencia a compresión del nuevo hormigón. Cuando se hace una sustitución del 100% de áridos gruesos reciclados en lugar de áridos convencionales, la resistencia a compresión puede disminuir entre un 10-20 % y se puede obtener una densidad entre un 10-20 % menor, es decir la densidad del hormigón reciclado es inferior a la del hormigón convencional.

Hasta el momento, de acuerdo con lo descrito sobre el Anejo 18 este es el único tipo de árido reciclado del que se conoce permisibilidad en la fabricación de hormigones reciclados en España.



Figura 4. *Árido Reciclado de Hormigón*

Fuente: (Dña. M^a Auxiliadora, 2012)

6.2.2 Áridos Procedentes de Residuos Cerámico

De acuerdo con Agrela et al (2009), citado en Dña. M^a Auxiliadora (2012) son áridos que se obtiene por procesamiento de material, predominantemente, cerámico. Se clasifican como tales aquellos áridos con un contenido de hormigón inferior al 70% y con una cantidad de partículas cerámicas superior al 20%. Tienen una mayor absorción y una menor densidad que el resto de áridos reciclados y en España, suelen ser aplicados en sub-bases y explanadas de carreteras y caminos rurales.



Figura 5. *Árido Reciclado Cerámico*

Fuente: (Dña. M^a Auxiliadora, 2012)

6.2.3 Áridos Procedentes de Materiales Mixtos

Este tipo de árido resulta del tratamiento de los RCD procedentes de diferente naturaleza, su contenido de partículas cerámicas y de hormigón deben ser menor al 20% y 90% respectivamente. La mayoría de las normativas o recomendaciones, no permiten el uso de este tipo de áridos en la fabricación de hormigón, debido a que estos áridos se consideran demasiado ligeros para su empleo en este tipo de producción.



Figura 6. *Árido Reciclado Mixto*

Fuente: (Dña. M^a Auxiliadora, 2012)

6.3 Propiedades del Hormigón Reciclado

Estas están determinadas según la procedencia del mismo.

6.3.1 Propiedades del Hormigón reciclado Procedente de áridos Reciclados de Hormigón

- **Densidad**

Según VRIES, p. (1993) citado en CEDEX (2008), la densidad del hormigón reciclado es inferior a la del hormigón fabricado con áridos naturales, , si se reemplaza el 100% del contenido de árido grueso natural por árido grueso reciclado, se obtiene una densidad entre un 10-20% menor.

- **Contenido de Agua**

El hormigón reciclado consume una mayor cantidad de agua que el hormigón fabricado con áridos naturales.

- **Consumo de Cemento**

El consumo de cemento en un hormigón reciclado para obtener la misma resistencia en comparación con el hormigón fabricado con áridos naturales, es mayor.

- **Módulo de Elasticidad**

De acuerdo con citado en CEDEX (2008), el módulo de elasticidad del hormigón reciclado es entre un 15-40% inferior al del hormigón fabricado con áridos naturales.

6.3.2 Propiedades del Hormigón Reciclado Procedente de Áridos Reciclados Mixtos (Cerámicos y Hormigón)

- **Densidad**

La densidad del hormigón reciclado fabricado con este tipo de áridos, varía entre 1600 y 2100 kg/m³, mientras que la densidad de hormigón ligero sin finos está comprendida entre 1400 y 1700 kg/m³ (CEDEX, 2008).

- **Resistencia a Compresión**

Según Inhobe S. A. (2011) la resistencia a compresión en un Hormigón Reciclado fabricado con este tipo de áridos, está comprendida entre 12 y 30 N/mm² y para un contenido de árido del 100% cerámico puede tener descenso de la resistencia a compresión de hasta un 70 %.

- **Módulo de Elasticidad**

El módulo de elasticidad de este tipo de hormigón reciclado, presenta una reducción respecto al del hormigón de control similar a la obtenida en la resistencia a compresión, del 28%. Al igual que sucede con la resistencia, este descenso se sitúa próximo al límite inferior del rango (25-20%) (Inhobe, S.A. , 2011).

- **Retracción**

Es una de las propiedades del hormigón reciclado donde se ha obtenido más dispersión de resultados, situando los incrementos habituales, entre un 20% y un 80%. Según un estudio experimental realizado, a los 7 meses de ensayo de retracción, la retracción de hormigón reciclado resulta ser un 40% superior a la del hormigón convencional (Inhobe, S.A. , 2011).

- **Resistencia al fuego**

"El hormigón fabricado con árido reciclado mixto presenta una buena resistencia al fuego si se conserva convenientemente seco" (Inhobe, S.A. , 2011).

7. EXPERIENCIAS DEL USO DE HORMIGÓN RECICLADO

7.1 Procedente de Áridos Reciclados de Hormigón

- Experiencia del Uso de Este Tipo de Hormigón Reciclado en España

Aunque a la facha, en España, la fabricación de hormigón mediante el uso de áridos reciclados procedente de hormigón es aún muy angosto, existen casos en los que este ha sido utilizado. A continuación, se mencionan algunos de estos:

El puente de Marina Seca, una de las obras emblemáticas del FOURM 2004 de Barcelona, fue construido utilizando hormigón reciclado en alguno de sus elementos. Se utilizó un árido reciclado de un único origen (fracción 4/25 mm), y con las características detalladas en la **Tabla 10** (...). Se utilizó una sustitución del 20% de árido reciclado previamente pre saturado, con un grado de saturación entre el 80% y el 90%. La resistencia obtenida fue de 47,8 N/mm², y los resultados de los ensayos de penetración de agua fueron adecuados. La puesta en obra de este hormigón no presentó ninguna dificultad (CEDEX, 2008).

Tabla 10

Características del Árido Reciclado Para la Fabricación del Hormigón Reciclado Utilizado en el Puente de Marina Seca del Forum 2004 de Barcelona

CARACTERÍSTICAS DEL ÁRIDO RECICLADO UTILIZADO

	CANTIDAD
Absorción Media	6,7%
Partículas de Hormigón	> 95%
Exento de Cloruros	
Sulfato	
Finos interiores a (0,063 mm)	1%
Finos menores de (4 mm)	10%

Fuente: Tabla de mi autoría, datos obtenidos de CEDEX. (2008).

- **Experiencia del Uso de Este Tipo de Hormigón Reciclado en Bélgica**

En 1987 fue utilizado hormigón reciclado en la ampliación del puerto de Antwerp, este hormigón resulto producto de escombros de hormigón de la demolición de varios muros del mismo puerto.

Según CEDEX (2008) "la demolición se realizó con explosivos, originando unos 80.000 m3 de escombros". Por lo que, por consideraciones ambientales y económicas, se utilizaron dichos escombros en la producción del hormigón a utilizar en dicha ampliación.

- **Experiencia del Uso de Este Tipo de Hormigón Reciclado en Alemania**

En 1999, en Alemania se utilizó áridos reciclados específicamente, áridos reciclados gruesos, en la construcción de grandes bloques de Hormigón como elementos decorativos en el centro de exposiciones de Magdeburg.

- **Experiencia del Uso de Este Tipo de Hormigón Reciclado en Japón**

En Japón se utilizan los áridos reciclados en la producción de bloques de hormigón.

- **Experiencia del Uso de Este Tipo de Hormigón Reciclado en Países Bajos**

Tabla 11

Uso de Hormigón Reciclado en Países Bajos

OBRA	AÑO	CANTIDAD DE HORMIGÓN RECICLADO UTILIZADO
Estribos de viaducto, cerca de Mappel	1988	500 m3
Viaducto cerca de Mappel	1990	11.000 m3
Compuerta Puerto próximo a Almelo	1988	2.000 ton

Fuente: Tabla de mi autoría, datos obtenidos de (CEDEX, 2008).

Debido a los buenos resultados obtenidos en la utilización de hormigón reciclado, desde 1991 se exige la utilización de árido de hormigón reciclado en un porcentaje del 20% de la fracción gruesa en todos los proyectos de hormigón, con excepción de las estructuras de hormigón pretensado (CEDEX, 2008).

7.2 Procedente de Áridos Reciclados Mixtos

- **Experiencia del Uso de Este Tipo de Hormigón Reciclado en España**

Hasta la fecha en España, existen pocas experiencias del uso de áridos reciclados mixtos en la producción de hormigones no estructural.

Según CEDEX (2008), hasta el momento, en España, la única experiencia que se conoce sobre la incorporación de áridos reciclados mixtos en la producción de hormigón reciclado,

es la ciudad Olímpica de Barcelona, donde se produjo aproximadamente 1.5 millones de toneladas de escombros, producto de las demoliciones de las construcciones situadas en dicha ciudad, de esto se trataron los residuos inertes como hormigón, cerámicas, ladrillos y piedras. El reciclaje de dichos residuos, se utilizó para la construcción de las calles y carreteras de la ciudad Olímpica en cuestión y estructuras de escollera en la línea litoral.

- **Experiencia del Uso de Este Tipo de Hormigón Reciclado en Países Bajos**

Debido a la escasez de áridos reciclados procedentes de residuos de hormigón, en Países Bajos han optado por probar la producción de hormigón con áridos reciclados mixtos.

Según CEDEX (2008) "En 1992 se empleó árido reciclado (mezcla de hormigón y ladrillo) en la construcción de un viaducto cerca de Helmond". Así como también en el mismo año se emplearon unos 300 m² de hormigón con este tipo de árido reciclado en las obras de la compuerta del puerto en las proximidades de Schijndel.

- **Experiencia del Uso de Este Tipo de Hormigón Reciclado en Alemania**

Se estima que el uso de este tipo de áridos reciclados en Alemania data desde el año 1950 y que se ha utilizado principalmente para la construcción de viviendas. Entre 1996.1997, a razón del desmantelamiento de una zona militar en Itzehoe, ciudad de Alemania, se produjeron unas 50.000 toneladas de escombros cerámicos y de hormigón y la mezcla de estos fue utilizada para la construcción nuevamente de las edificaciones de esa misma zona (CEDEX , 2014).

- **Experiencia del Uso de Este Tipo de Hormigón Reciclado en Reino Unido**

En 1996, en la ciudad de Cardington, Reino Unido, se utilizó por primera vez la mezcla de áridos reciclados mixtos procedentes de residuos de hormigón y de ladrillos en la construcción de la losa del segundo nivel de un edificio de dicha ciudad. Se sustituyó el 20% de árido grueso y se emplearon 100 toneladas de árido reciclado, con un contenido de hasta el 50% de ladrillos (...) y se obtuvo una resistencia de 60 N/mm² a los 91 días (CEDEX , 2014).

8. CONCLUSIONES

A continuación, se detallan las principales conclusiones obtenidas con esta investigación:

1. Los Residuos de construcción y demolición procedentes de hormigón o residuos mixtos (cerámicas, yeso, etc.), además de tradicionalmente ser utilizados en actividades correspondientes al sector de la construcción, como son: relleno de zanjas, como base en carreteras, etc. pueden ser reciclados y posteriormente utilizados tanto en el desarrollo o producción de hormigón no estructural, como en el hormigón estructural, pues los mismos claramente cumplen con las condiciones necesarias para este uso.

De acuerdo con la investigación realizada, queda demostrado que el uso de áridos reciclados procedentes del proceso de trituración de hormigones es una solución totalmente viable para la producción de hormigones reciclados. La calidad que llega a obtener este tipo de hormigón, permite que se generen resultados satisfactorios desde el punto de vista de la resistencia mecánica, una de las primeras características exigidas en cualquier hormigón. Por otro lado, el uso de estos, reducen los problemas de eliminación de los residuos producidos en el sector de la construcción, además de disminuir la utilización de los recursos naturales necesarios para fabricarlos, y con esto el impacto medioambiental que se ha estado causando por décadas.

En la actualidad es más común el uso de áridos reciclados procedentes de los desechos del hormigón convencional, para el desarrollo de hormigones reciclados, sin embargo, también es posible el uso de áridos procedentes de residuos mixtos, como la mezcla de los desechos de yeso, cerámica, ladrillos, etc. Pues estos cumplen con iguales condiciones siempre y cuando, se produzca el hormigón reciclado de acuerdo a la dosificación adecuada.

En conclusión, en cuanto al hormigón reciclado fabricado con áridos reciclados mixtos, se recomienda el empleo de áridos gruesos reciclados mayor a 4 mm, además de los requisitos representados en la **Tabla 12**:

Tabla 12: *Requisitos que debe cumplir el hormigón reciclado procedentes de áridos reciclados mixtos*

	Requisitos
Absorción a 24 horas	$\leq 12\%$
Contenido de sulfatos solubles en ácido (SO ₃)	$\leq 1\%$
Contenido de materiales no deseados (Plástico, materia orgánica, madera, papel, etc.)	$\leq 1\%$
Contenido de vidrio	$\leq 1\%$
Contenido de asfalto	$\leq 5\%$
Coefficiente de los Ángeles	$\leq 50\%$
Índice de lajas	$\leq 35\%$

Fuente: (Ihobe, S.A. , 2011)

2. Por otro lado, como se destacó en el desarrollo de la investigación, debido a la resistencia al fuego que presenta el hormigón convencional, la protección pasiva contra el fuego que presentaría un hormigón reciclado sería claramente efectiva, pues el mismo está compuesto de árido reciclado que ya contiene compuestos químicamente hidratados, dígame restos de cementos, yeso, etc. que en un incendio son capaces de evaporar el agua, retrasando el calentamiento del acero y aumentando el tiempo que tarda en alcanzar la temperatura en el que el acero pierde sus propiedades mecánicas. Se recomienda que, aun teniendo conocimiento de dicha información, en cualquier caso, realizar previamente ensayos de resistencia al fuego.
3. Por último, cabe destacar que la producción del hormigón reciclado provoca un ahorro de energía notable, debido a la menor explotación de las canteras que esto generaría, lo que se traduce como ciertos beneficios económicos.

9.1 Glosario de términos

- **Árido Reciclado**

Se entiende por árido reciclado, al árido obtenido mediante el procesamiento de residuos de construcción y demolición que pueden ser utilizados para aplicaciones no estructurales tales como el relleno de zanjas, nivelaciones, así como también, para la fabricación de hormigón.

- **Residuos de Construcción y Demolición**

Se entiende como residuos de construcción y demolición, aquellos residuos generados en actividades que tienen que ver con el sector de la construcción.

- **Índice de Lajas**

Porcentaje en peso de áridos considerados como lajas según la norma UNE-EN 933-3. Se define como laja aquella partícula en la cual una dimensión es mucho más pequeña que las otras dos (Ihobe, S.A. , 2011).

- **Hormigón no Estructural**

De acuerdo a lo especificado en el Anejo 18, se define como hormigones de uso no estructural, aquellos hormigones que no aportan responsabilidad estructural a la construcción pero que colaboran en mejorar las condiciones durables del hormigón estructural o que aportan el volumen necesario de un material resistente para conformar la geometría requerida para un fin determinado (Noticias Jurídicas, (s.f)).

- **Coefficiente de los Ángeles**

El coeficiente de desgaste de Los Ángeles es la diferencia entre la masa original de un árido y su masa tras ser sometido a una carga abrasiva y rechazando el material que pasa por el tamiz 1,6 UNE, expresada en tanto por ciento de masa inicial.

- **Densidad**

Relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón.

- **Resistencia a Compresión**

Esfuerzo máximo que presenta un material a la compresión sin romperse (Ihobe, S.A. , 2011).

- **Módulo de elasticidad**

Relación entre la tensión y la correspondiente deformación unitaria en un material sometido a un esfuerzo que está por debajo del límite de elasticidad del material (Ihobe, S.A. , 2011).

- **Impureza**

Este término se refiere a una sustancia o conjunto de partículas extrañas a un cuerpo que, al mezclarse con este, le hacen perder la pureza.

9.2 Imágenes de Áridos Reciclados

- **Áridos Procedentes de Residuos de Hormigón**



Fuente: (Dña. M^a Auxiliadora, 2012)

- **Áridos Procedentes de Residuos de Cerámicas**



Fuente: (Dña. M^a Auxiliadora, 2012)



Fuente: (Vázquez, 2020)

- **Áridos Procedentes de Materiales Mixtos**



Fuente: (Dña. M^a Auxiliadora, 2012)

9.3 Imágenes de Residuos de Construcción y Demolición



Fuente: fotografía tomada por mí.



Fuente: fotografía tomada por mí.



Fuente: fotografía tomada por mí.

10.REFERENCIAS

- (s.f.). Obtenido de https://fido.palermo.edu/servicios_dyc/blog/docentes/trabajos/39726_149027.pdf
- Licona David , D. (16 de Junio de 2017). *Evaluación Ambiental y Económica De La Utilización de Materiales Reciclados Para La Producción del Hormigón Estructural y No Estructural En Cataluña* . Obtenido de Escola De Camins: file:///C:/Users/User/Downloads/TFM%20Dania%20Licona.pdf
- (s.a). (21 de Marzo de 2018). *Residuos de construcción y demolición reciclados para su reutilización*. Obtenido de Certificados Energéticos.com: <https://www.certificadosenergeticos.com/residuos-de-construccion-y-demolicion-reciclados-reutilizacion>
- Alaejos, P., & Sánchez, M. (2015). *Hormigón reciclado estructural: utilización de árido reciclado procedente de escombros de hormigón*. Obtenido de file:///C:/Users/User/Downloads/530-Documento%20de%20Word-684-2-10-20180306.pdf
- Aldana , J., & Serpell, A. (Agosto de 2012). *Temas y tendencias sobre residuos de construcción y demolición: un metaanálisis*. Obtenido de Scielo: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-915X2012000200002&script=sci_arttext
- Arenas, F. J. ((s.f.)). *Los materiales de la construcción y el medio ambiente*. Obtenido de huespedes.cica.es: https://huespedes.cica.es/gimadus/17/03_materiales.html
- Asociación Española de Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición . (21 de Abril de 2017). *Informe de Producción y Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en España, Periodo 2011-2015*. Obtenido de rcd asociación: <https://rcdasociacion.es/noticias/item/244-informe-de-produccion-y-gestion-de-residuos-de-construccion-y-demolicion-rcd-en-espana-periodo-2011-2015>
- Autor. (2012). Este es el ejemplo de una cita. *Tesis Doctoral*, 2(13).
- Autor, O. (2001). Otra cita distinta. *revista*, pág. 12.
- Beltrán Ruíz , M. P., Camacho González, D. C., Palacio León , O., & Chávez Porras , Á. (2014). *Análisis del estado actual del diseño de unidades de reciclaje de residuos de construcción y demolición según metodología de Estados Unidos como gestión Eco-sostenible*. Obtenido de Revista Semilleros : file:///C:/Users/User/Downloads/19-Texto%20del%20art%C3%ADculo-66-1-10-20171221.pdf
- Bernal González, I. A. (2017). *Valorización de los residuos de la construcción y demolición como áridos reciclados en el municipio Holguín*. Obtenido de Universidad de Holguín: <https://repositorio.uho.edu.cu/jspui/bitstream/uho/4570/1/Tesis%20Ismael%20Bernal.pdf>
- Betancourt Quiroga, C. I., Correa Giraldo, V. M., & Betancourt Quiroga, B. O. ((s.f.)). *Estudio de factibilidad para el aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en la industria de la construcción de la ciudad de México Distrito Federal*. Obtenido de KALTIA :

- <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/07/360-Mexico-oral.pdf>
- BOE. (13 de Febrero de 2008). *Legislación consolidada*. Obtenido de Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-2486>
- Castaño, J., Misle Rodríguez, R., Lasso, L., Gómez Cabrera, A., & Ocampo, M. (15 de Abril de 2013). *Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes*. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/6933/8570>
- CDN. (9 de Febrero de 2020). *Misión RD visita planta aprovechamiento sostenible de residuos de la construcción*. Obtenido de <https://cdn.com.do/2020/02/09/mision-rd-visita-planta-aprovechamiento-sostenible-de-residuos-de-la-construccion/#>
- CEDEX. (Noviembre de 2014). *Residuos de Construcción y Demolición*. Obtenido de Catálogos de Residuos Utilizables en Construcción: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/35/residuos-de-construccion-y-demolicion/valorizacion/obras-realizadas/arido-reciclado-procedente-de-residuos-ceramicos-o-mixtos/220/edificacion-y-obra-publica.html>
- CEDEX. (2008). *Tipos y Propiedades de Áridos Reciclados*. Obtenido de file:///C:/Users/User/Downloads/PA2.pdf
- CEDEX. (Diciembre de 2010). *Residuos de Construcción y Demolición*. Obtenido de <http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/0AF8BEF6-2BE2-4456-AE0C-7181B3A2975B/119974/RESIDUOSDECONSTRUCCIONYDEMOLICION1.pdf>
- CONSTRUMÁTICA. ((s.f)). *La protección de las estructuras*. Obtenido de https://www.construmatica.com/construpedia/La_Protecci%C3%B3n_de_las_Estructuras
- Contexto actual del reciclado de los RCDs*. ((s.f)). Obtenido de Áridos Reciclados RCD: <http://www.aridosrcdandalucia.es/rcd/contexto-actual/>
- CSCAE. ((s.f)). *Código Técnico de la Edificación*. Obtenido de Plan de formación del CTE - CSCAE: http://www.coavn.org/coavn/cte/presentacion/CTE_DB_SI6_Total_Zulueta.pdf
- del Río, M. (2010). *La regulación jurídica de los residuos de construcción demolición (RCD) en España. El caso de la comunidad de Madrid*. Obtenido de Informe de la construcción: file:///C:/Users/User/Downloads/810-1350-2-PB.pdf
- Del Río, M., C., P., & Mercedes e Izquierdo, G. ((s.f)). *La problemática de los residuos de construcción y demolición*. Obtenido de Medio Ambiente: <http://pdfs.wke.es/3/9/4/0/pd0000013940.pdf>
- del Río, M., Izquierdo, P., Salto, I., & Santa Cruz, J. (Marzo de 2010). *La regulación jurídica de los residuos de construcción demolición (RCD) en España. El caso de la Comunidad de Madrid*. Obtenido de <https://core.ac.uk/reader/205484902>
- Dña. M^a Auxiliadora, B. (2012). *Aplicaciones de los Áridos Reciclados Procedentes de Residuos de Construcción y Demolición en la construcción de infraestructuras Viarias*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=69699>
- El Aislamiento y la Clasificación de Reacción al fuego*. (18 de Febrero de 2017). Obtenido de [aisla: https://www.aisla.org/aislamiento-reaccion-fuego/](http://www.aisla.org/aislamiento-reaccion-fuego/)
- García, J. F. (Noviembre de 2014). *Gestión de residuos de construcción y demolición en Alemania*. Obtenido de [cmic: https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Fichas%20T%C3%A9cnicas/Alemania_BP.pdf](https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Fichas%20T%C3%A9cnicas/Alemania_BP.pdf)
- GERD. (5 de Septiembre de 2018). *Guía española de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición*. Obtenido de Activatie: <https://www.activatie.org/publicacion?772>

- Gestión de Residuos de Construcción y Demolición en Colombia.* ((s.f)). Obtenido de cmic (Cámara Mexicana de la industria de la construcción): https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Fichas%20T%C3%A9cnicas/Colombia_Ficha.pdf
- Gobierno de España, Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana . ((s.f)). *ANEJO 18.* Obtenido de EHE 08 version en castellano: <https://www.mitma.gob.es/organos-colegiados/mas-organos-colegiados/comision-permanente-del-hormigon/cph/instrucciones/ehe-08-version-en-castellano>
- González Arias , E. (Mayo de 2012). *Nuevo método de dosificación sostenible para hormigones con áridos reciclados* . Obtenido de Universidad politécnica de Catalunya: <file:///C:/Users/User/Desktop/TFM/HORMIG%C3%93N%20RECICLADO.pdf>
- González Rivero, R. (Abril de 2016). *Reacción al Fuego.* Obtenido de Colección Fichas Seguridad Contra Incendios : https://www.enginyersbcn.cat/media/upload/fitxes_manuales/Fitxa_1.1_Reaccion_al_fuego_Rub en_Rafael_Gonzalez.pdf
- IHOBE. ((s.f)). *Monografías sobre residuos de construcción y demolición.* Obtenido de <http://www.btbab.com/wp-content/uploads/documentos/legislacion/construccion.pdf>
- Ihobe, S.A. . (Abril de 2011). *Usos de áridos Reciclados mixtos procedentes de Residuos de Construcción y Demolición.* Obtenido de Inhobe S.A.Sociedad Publica de Gestión Ambiental: <http://www.caminospaisvasco.com/Profesion/documentostecnicos/usuariosaridos>
- Jiménez Madrid , D. ((s.f)). *Comportamiento del hormigón de alta resistencia frente al fuego.* Obtenido de Universidad Politécnica de Cartagena : <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial106.pdf>
- Martín Morales, M. (2013). *El Residuo de la construcción y demolición (RCD) como árido en la elaboración de prefabricados no estructurales.* Obtenido de DIGIBUG: <file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/21922160-2.pdf>
- Masimon Clavera , L. (julio de 2016). *Estabilidad al fuego. Protección estructural.* Obtenido de Colección fichas seguridad contra incendios: https://www.enginyersbcn.cat/media/upload/fitxes_manuales/Fitxa_1.4_Estabilidad_al_Fuego_Luis_Masimon.pdf
- Navarro Calderón, Á. (2014). *Uso y Fomento del Árido Reciclado en Hormigón estructural como oportunidad de -mejora Medioambiental y económica. Aplicación a la Comunidad Autónoma de La Rioja* . Obtenido de Universidad de La Rioja : <file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-UsosYFomentoDelAridoRecicladoEnHormigonEstructuralC-43246.pdf>
- Noticias Jurídicas. ((s.f)). *Recomendaciones para la utilización de hormigones reciclados.* Obtenido de http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/rd1247-2008.html
- Noticias Jurídicas. ((s.f)). *Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08).* Obtenido de Noticias Jurídicas: noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/rd1247-2008.html#anexo1anexo18
- Páez Lozano, S. (2016). *ÁRIDOS RECICLADOS PARA APLICACIONES DE HORMIGÓN N NO ESTRUCTURAL.* Obtenido de <https://docplayer.es/15759897-Aridos-reciclados-para-aplicaciones-de-hormigon-n-no-estructural.html>
- Pignatta e Silva, V. ((s.f)). *Estructuras de Acero en Situación de Incendio.* Obtenido de http://www.arquitecturaenacero.org/sites/default/files/adjuntos/estructuras_de_acero.pdf
- Pignatta, V. ((s.f)). *Estructuras de acero en situación de incendio.* Obtenido de

- http://www.arquitecturaenacero.org/sites/default/files/adjuntos/estructuras_de_acero.pdf
- Proyecto GEAR*. ((s.f)). Obtenido de Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de Residuos de Construcción y Demolición (RCD): <http://www.caminospaisvasco.com/Profesion/documentostecnicos/guia>
- Structuralia . (18 de mayo de 2018). *El Reciclado del Hormigón y sus Enormes Ventajas Medioambientales* . Obtenido de Structuralia : <https://blog.structuralia.com/el-reciclado-del-hormigon-y-sus-enormes-ventajas-medioambientales>
- Structuralia. (18 de mayo de 2018). *Materiales y procedimientos de construcción*. Obtenido de El reciclado del Hormigón y sus enormes ventajas medioambientales : <https://blog.structuralia.com/el-reciclado-del-hormigon-y-sus-enormes-ventajas-medioambientales>
- Suárez Silgado, S., Andrés Molina , J., Mahecha, L., & Calderón, L. (Junio de 2018). *Diagnóstico y propuestas para la gestión de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Ibagué (Colombia)*. Obtenido de <file:///C:/Users/User/Desktop/TFM/COLOMBIA%20Dialnet-DiagnosticoYPropuestasParaLaGestionDeLosResiduosDe-6687508.pdf>
- Tertre Torán, J., & Moreno Burriel , A. ((s.f)). *Hormigón Con Árido Reciclado*. Obtenido de http://www.hormigonespecial.com/~pdfs/MONOGRAFIA_RECICLADO.pdf
- Usos y aplicaciones de los áridos reciclados* . ((s.f)). Obtenido de Satur, gestión de residuos : <https://www.contenedoressatur.com/usos-y-aplicaciones-de-los-aridos-reciclados/>
- Vázquez, M. P. (2020). Árido reciclado: calidades, usos, ventajas. *aproin*. Obtenido de http://www.revistaaproin.com/medioambiente_132-2/#.X2j1O2hKiM8