



Universidad Autónoma de Chiapas
Facultad de Arquitectura
Campus I

**Residuos de Construcción y Demolición (RCD) derivados de losetas
cerámicas, como reemplazo del agregado fino en la elaboración de
tabicón para uso estructural.**

T E S I S

Que para obtener el grado de
Maestro en Arquitectura y Urbanismo
Línea de Arquitectura Sustentable

PRESENTA:

Diana Maritza Tovilla Ramírez D030096

Director de Tesis:

Dr. Herwing Zeth López Calvo
Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca

Cuerpo académico:

Dr. Gabriel Castañeda Nolasco
Dr. Raúl Pavel Ruiz Torres
Dr. Ruber Trujillo Samayoa
Dr. Carlos O. Cruz Sánchez

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Marzo de 2021



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA
Coordinación de Investigación y Posgrado



TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS;
14 DE FEBRERO DE 2020.

MTRO. JOSÉ LUIS JIMÉNEZ ALBORES
Director de la Facultad de Arquitectura
UNACH
PRESENTE

Con base en los acuerdos obtenidos en la Sesión Ordinaria del Comité de Investigación y Posgrado de esta Facultad, efectuada el día 04 de noviembre del presente año, donde se nos asigna como jurado de Examen de Grado del Proyecto Terminal de la Maestría denominado: **"Residuos de Construcción y Demolición (RCD) derivados de losetas cerámicas, como reemplazo del agregado fino en la elaboración de tabicón para uso estructural"**, que para obtener el Grado de Maestro en Arquitectura y Urbanismo presenta el **C. Diana Maritza Tovilla Ramírez**, por este medio, y de acuerdo con la revisión realizada, nos permitimos informar a usted que otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO** de autorización de impresión del documento.

Lo anterior es con la finalidad de que se realicen los trámites y el examen correspondiente.

ATENTAMENTE

"Por la Conciencia de la Necesidad de Servir"


DR. RAÚL PAVEL RUIZ TORRES
PRESIDENTE


DR. HERWING ZETH LÓPEZ CALVO
SECRETARIO


DR. RUBER TRUJILLO SAMAYOA
VOCAL

C.c.p. DRA. TERESA DEL ROSARIO ARGÜELLO MÉNDEL, COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO.
C.c.p. DR. JOSÉ FRANCISCO GÓMEZ COUTIÑO, JEFE DEL AREA DE ACREDITACIÓN Y GESTIÓN DE CALIDAD.
C.C.P. Archivo/Monitoreo
TEAM/olvet

*Boulevard Belisario Domínguez, Km.1081, Calzada a Rectoría Sin Número.
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, C.P. 29050.
Tel: (961) 6 15-09-35, 61 5 4043, 61 54248
visite nuestra página: www.arquitectura.unach.mx*



Código: FO-113-09-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) **Diana Maritza Tovilla Ramírez**, Autor (a) de la tesis bajo el título de **“Residuos de Construcción y Demolición (RCD) derivados de losetas cerámicas, como reemplazo del agregado fino en la elaboración de tabicón para uso estructural”**, presentada y aprobada en el año 2021 como requisito para obtener el título o grado de **Maestro En Arquitectura y Urbanismo**, autorizo a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), a que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para que contribuya a la divulgación del conocimiento científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBIUNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional del Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 10 días del mes de marzo del año 2021.

Diana Maritza Tovilla Ramírez
Nombre y firma del Tesista o Tesistas

Dedicada a la amada memoria de mi padre...**Hebert Tovilla Gallardo.**

*En un lugar más allá del bien y del mal,
hay un jardín. Allí me reuniré contigo...*

Rûmî

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios que me dio a mis padres...

*...a mis padres que me lo han dado todo y fue perfecto. A mi mamá **María Ramírez Estrada** sigamos caminando juntas esta vida.*

Agradezco infinitamente a mis hijos...

*A mi hija **Miranda**, por su inocente semi-paciencia, tiempo y amor.
A mi hijo **Javier** por sus primeros días compartidos con este proyecto y su bella sonrisa al volver con él.*

*A mi esposo **Javier Ríos Álvarez** por su amor, motivación y fe.
Este proyecto mío también es de él.*

A mi hermano por ayudarme con mis bebés.

A mis amigos y familiares por cada palabra de aliento y cariño.

*A mi director de tesis, **Dr. Herwing Zeth López Calvo**, por su guía, asesoría, tiempo y apoyo en la realización de este proyecto. Además de ser excelente maestro.*

*A mis profesores de clase, asesores y revisores **Dr. Gabriel Castañeda Nolasco, Dr. Raúl Pavel Ruiz Torres, Dr. Ruber Trujillo Samayoa y Dr. Carlos O. Cruz Sánchez** por sus sabias palabras, guía, enseñanzas y observaciones siempre acertadas.*

A mis amigos de la maestría de la línea de sustentabilidad por ser parte del camino andado, por su amistad brindada y sincero apoyo. También un agradecimiento a la línea de Edificación y al Ing. Mauricio por su apoyo desinteresado.

Al Dr. Eddy González García, Mtra. Nguyen Molina Narváez, Ing. José A. Gómez Rodríguez y a los estudiantes del servicio social que trabajan en el Laboratorio de Materiales, gracias por su tiempo y apoyo.

A la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas.

Al Dr. Roger Castillo Palomera Director de Ingeniería de Energía y a la Mtra. Edith Ponce Recinos Responsable Técnico del CIDTER de la Universidad Politécnica de Chiapas por su valioso apoyo, asistencia e interés.

Al Dr. en Física Daniel Hernández Cruz de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas por su apoyo en la interpretación de perfiles y graficas de difractogramas.

Y aquellos que ofrecieron su ayuda desinteresada, por sus palabras y apoyo.

RESUMEN

El impacto ambiental es uno de los problemas más graves que se enfrentan en la búsqueda hacia una arquitectura y construcción sustentable, provocado por las acciones que se hacen antes, durante y después de la construcción como la extracción y dragado de ríos. De la misma manera el volumen de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) que la construcción produce y expone al ambiente, es de millones de toneladas anuales, por lo que se deberán adoptar medidas para reducir la generación de estos y aprovechar aquellos susceptibles de reutilización, reciclado o de transformación.

Los RCD derivados de loseta cerámica y el Cemento Portland Ordinario fueron seleccionados como la materia prima para evaluar los efectos de reemplazar agregados finos por RCD en la formación de tabiques de concreto para uso estructural. Basados en el método experimental factorial $N=AXB$ y normas NMX y ASTM, se elaboraron los diseños de muestras variando proporciones de RCD para conocer los efectos de cada uno y analizar resultados. Se aplicaron los métodos de prueba: Resistencia a la compresión, Absorción, Dimensiones y Conductividad térmica. Después se registran y procesan los resultados, estos permiten proponer una alternativa de prefabricados elaborados con agregados finos reciclados para minimizar la extracción de materias primas y desecho de materiales.

PALABRAS CLAVES: RCD, cerámicos, reemplazar, tabique

ABSTRACT

The environmental impact is one of the most serious problems faced in the search towards an architecture and sustainable construction, caused by the actions that are done before, during and after construction such as the extraction and dredging of rivers. In the same way, the volume of construction and demolition waste (C&D Waste) that the construction produces and exposes to the environment, is of millions of tons per year, so measures must be adopted to reduce the generation of these and take advantage of those susceptible to reuse, recycling or transformation.

The C&D Waste derived from ceramic tile and the Ordinary Portland Cement were selected as the raw material to evaluate the effects of replacing fine aggregates by C&D Waste in the formation of concrete partitions for structural use. Based on the experimental factorial method $N = AXB$ and NMX and ASTM standards, the sample designs were elaborated varying proportions of C&D Waste to know the effects of each and analyze results. The test methods were applied: Compression resistance, Absorption, Dimensions and Thermal conductivity. After the results are recorded and processed, they allow proposing an alternative of prefabricated products made with recycled fine aggregates to minimize the extraction of raw materials and the disposal of materials.

KEY WORDS: C&D waste, ceramics, replace, bricks

INDICE

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Generalidades	1
Problema.....	1
Justificación.....	8
Hipótesis	9
Objetivo General	10
Objetivos particulares.....	10
1.2 Antecedentes.....	11
Residuos de Construcción y Demolición (RCD).....	11
El uso histórico de los RCD.....	14
Loseta cerámica, su historia y fabricación contemporánea.....	19
Estado del Arte.....	24
Capítulo 2. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO.....	26
2.1 Introducción	26
2.2 Marco conceptual enfocado a los RCD.....	26
2.3 Marco teórico sobre RCD	29
2.4 Caracterización y valorización de los RCD	30
2.5 Materiales	32
RCD derivado de losetas cerámicas	32
Cemento Portland (CPO)	32
Agua.....	33
Arena de Rio	33
2.6 Método de evaluación o análisis.....	33
2.7 Objeto de Estudio	35
Capítulo 3. MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1 Diseño de experimento	37
3.2 Preparación del RCD derivado de loseta cerámica	39
3.3 Caracterización del RCD derivado de loseta cerámica.....	41
Granulometría, Densidad y Absorción	42
3.4 Diseño de mezclas	47
3.5 Elaboración de las muestras.....	48
3.6 Métodos de Ensayo, Pruebas y determinaciones.....	49
Resistencia a la compresión	49

Absorción	50
Dimensiones	50
Capítulo 4. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	51
4.1 Resultados, información y datos generados	51
Resistencia a la compresión	51
Absorción	56
Dimensiones	56
4.2 Análisis de resultados	58
Resistencia a la compresión	58
Absorción	59
Disgregación	60
4.3 Discusión de resultados	61
4.4 Alternativas de proyectos de investigación a partir de los resultados	61
Capítulo 5. CONCLUSIÓN	62
Capítulo 6. APÉNDICE	63
Pruebas piloto	63
Microestructura del RCD derivado de loseta cerámica	65
Composición química del RCD derivado de loseta cerámica	69
Conductividad térmica (Métodos de Ensayo, Pruebas y determinaciones).....	72
Participaciones en Congresos, Coloquios, Encuentros, etc.	81
Listado de Figuras.....	85
Listado de Tablas.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	90

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

Problema

Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) son aquellos resultados de la construcción de nuevas edificaciones, de la demolición de aquellas obras que llegaron al fin de su vida útil o de las que tienden a sufrir reformas; dentro de la industria de la construcción estos residuos conciben problemas ambientales graves en su misma generación y gestión, igualmente se encuentran claramente relacionados con las actividades sociales de los asentamientos humanos y su medio ambiente inmediato. Su relevancia trasciende inminentemente a maximizar los problemas de impacto ambiental por extracción de materiales, vertederos incontrolados y detrimento del paisaje urbano y natural, como lo señala Acosta.

“Los impactos de la construcción sobre el medio ambiente se pueden agrupar en dos grandes categorías, tal como se muestra en la figura 3-1: 1) los impactos producidos por la extracción de recursos del medio ambiente; y 2) aquellos generados por los desechos y el bote o vertido al medio ambiente.”
(Acosta D., 2009)

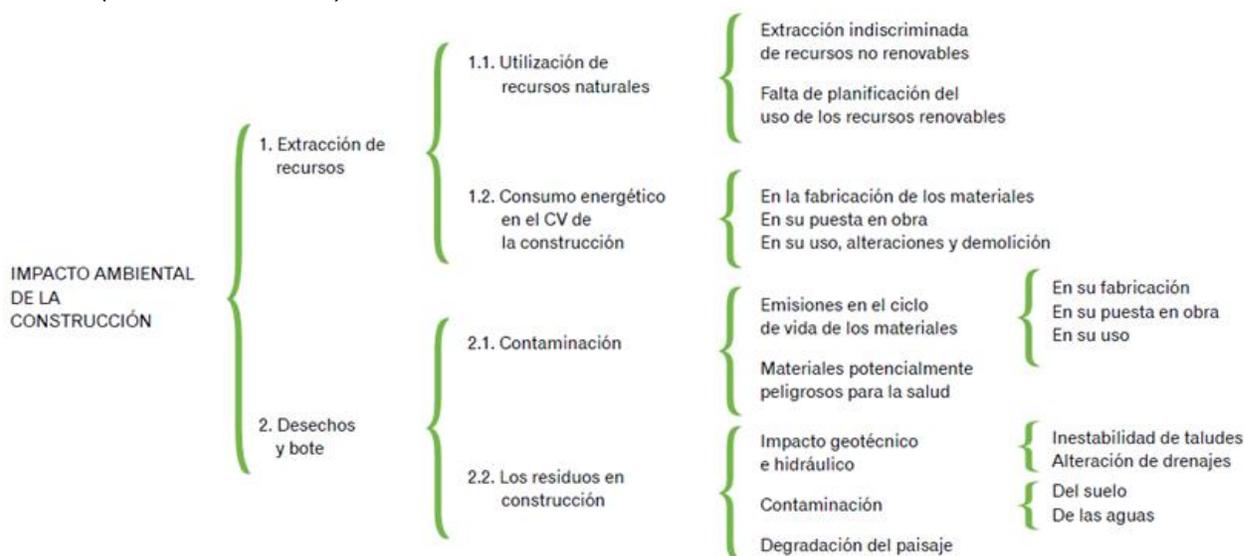


Figura 1. 1 Los impactos de la construcción sobre el medio ambiente Fuente: Arquitectura y construcción sostenibles: conceptos, problemas y estrategias (Acosta D., 2009) Figura 3-1

Extracción de recursos

Al respecto de estas dos grandes categorías se puede comenzar exponiendo que de la extracción de recursos, la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) y el Centro de Información de las Naciones Unidas en México (CINU) coinciden con el informe del Panel Internacional de Recursos donde comunica que la extracción

mundial de materias primas se triplicó en cuatro décadas y agudiza el cambio climático y la contaminación atmosférica, además que en la actualidad la extracción de estas materias ya conciben impactos graves en la salud humana y la calidad de vida de las personas, demostrando así que los patrones imperantes de producción y consumo son insostenibles (Panel Internacional de Recursos IRP, 2016) Ejemplo de ello, en Europa y en los países con más producción en millones de euros producto de la minería y las canteras se presenta la Tabla 1.1 (Eurostat statistics explained, 2018):

Tabla 1. 1 Mining and quarrying by employment size class (NACE Rev. 1.1, C, 1995-2001) Minas y canteras por clase de empleo en Europa y dado en valor de producción en millones de euros. Fuente: Elaborada por el autor con Información de Eurostat explicaciones estadísticas (hasta el 2001).

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
EU-28	-	-	-	-	-	-	-
ALEMANIA	-	-	-	-	12,934.9	13,100.2	11,705.5
FRANCIA	-	7,594.1	5,999.1	6,465.6	5,874.5	7,772.5	6,952.6
UK	-	-	41,370.5	34,284.6	37,992.7	55,663.8	53,908.1
ITALIA	-	6,345.3	9,938.0	8,454.4	6,748.5	8,413.5	9,611.1

Esta información conduce a inferir que aun cuando la ganancia de la minería y la extracción de materias no se dispara de manera ascendente, sino que fluctúa en por cada año, los números van en aumento así mismo el número de empresas que se dedican a esta actividad. De este organismo que proporciona los datos e indicadores a nivel europeo se clasifican también nuestros indicadores a nivel nacional como lo presenta el Banco de México (2011) en la Figura 1.2.

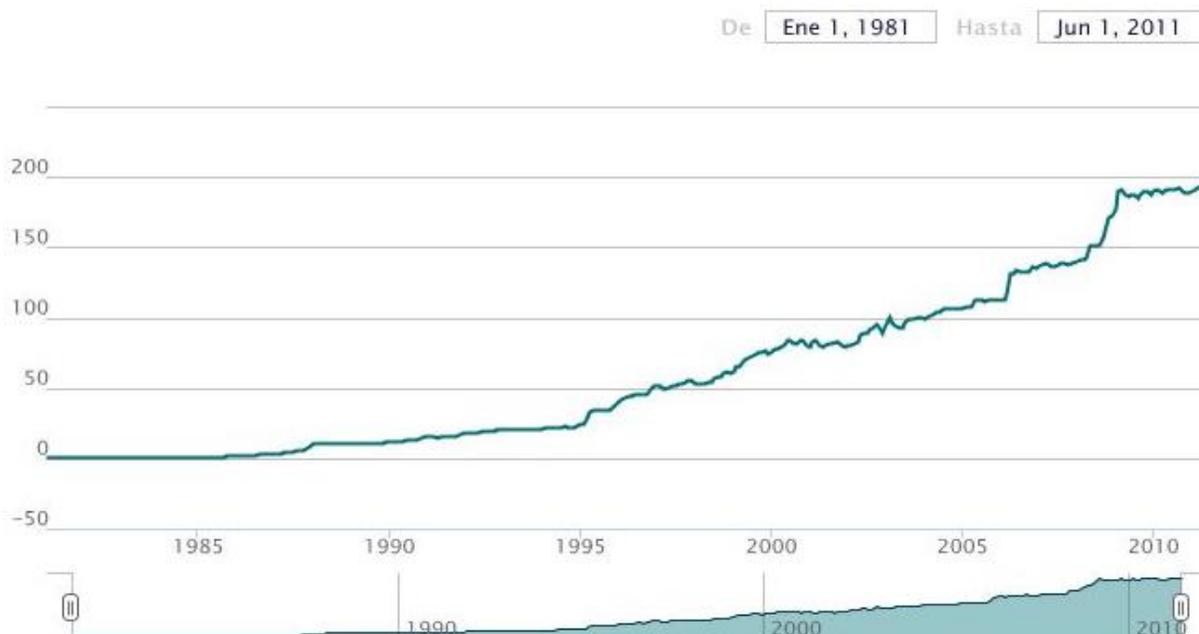


Figura 1. 2 Explotación de Canteras y Extracción de arena y arcillas (R9) sin unidad con periodicidad mensual en México Fuente: (Banco de México , 2011)

En 25 años la explotación de arenas y arcillas creció en casi un 200%, datos que forma parte del Sistema de Información Económica del Banco de México y coincide con lo ya referido por el IRP a nivel mundial.

Por otra parte, la SEMARNAT (2016) expone como los materiales primarios son los insumos básicos de la producción y otros materiales prefabricados; también constituyen la materia prima de los bienes y servicios que se consumen socialmente (Ver Figura 1.3). Así mismo, la extracción, procesamiento y consumo constituyen los más importantes promotores del deterioro ambiental (Ver Figura 1.4).

“Promueven la pérdida y degradación de los hábitats naturales y su biodiversidad, la contaminación del aire, suelo y agua, sin olvidar el cambio climático y los efectos colaterales en la salud humana. A ellos debe sumarse que también agotan y deterioran las reservas de recursos naturales cuando la extracción se realiza de manera no sustentable, lo que amenaza la productividad de la economía y el bienestar de las generaciones futuras” (SEMARNAT, 2016).

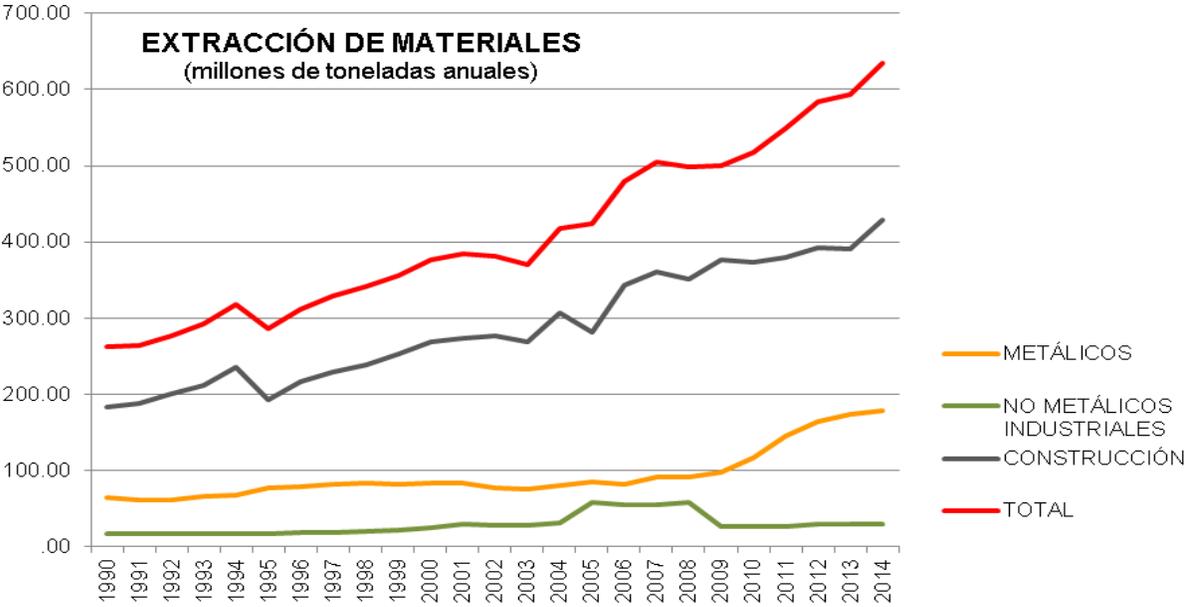


Figura 1. 3 Extracción de minerales, metálicos y materiales de construcción. Fuente: Elaborada Por el autor con información de SEMARNAT (2016).

Estos indicadores miden de manera indirecta la presión sobre la calidad ambiental y las reservas de recursos naturales nacionales. Por lo tanto, cuando estos valores aumentan representan también el aumento de deterioro ambiental y calidad del mismo (SEMARNAT, 2016).

En el Estado de Chiapas esta presión hacia el ambiente se puede medir con los siguientes indicadores de volúmenes (ver Tabla 1.2) de producción minera que compensan su descenso con la extracción en los principales ríos. La entidad ocupa a

nivel nacional el décimo primer lugar en la producción de agregados pétreos (Secretaría de Economía, 2017).

Tabla 1. 2 Volúmenes de producción minera 2012 – 2016 en el estado de Chiapas dada en toneladas
Fuente: Elaborada por el autor con información de la Secretaría de Economía (Secretaría de Economía, 2017)

PRODUCTO/AÑO	2012	2013	2014	2015	2016/P
AGREGADOS PÉTREOS	634,233.60	963,332.51	10,001,233.58	8,237,353.15	8,180,904.00
ARCILLAS	3,600.00	4,060.00	720.00	720.00	720.00
ARENA 1/	-	452,481.92	3,939,261.92	3,191,200.00	2,570,835.11
AZUFRE	222,900.00	249,431.00	270,900.00	269,890.00	271,385.00
CALIZA	1,688,360.00	1,114,671.75	16,160,250.00	15,219,800.00	10,610,910.00
GRAVA	-	-	115,800.00	181,500.00	181,500.00

Por otra parte, en el estado de Chiapas la arena de río constituye la opción con más demandada en el sector de la construcción aun cuando las consecuencia son la alteración y perturbación del agua, generando turbiedad por las extracciones, resultando un impacto moderado y acumulativo; la fauna terrestre, aves y también la calidad paisajística se verán afectadas por la presencia y el constante movimiento de las dragas según varios informes ejecutivos de impacto ambiental en los causes del río Santo Domingo (Cruz Cruz, 2011).

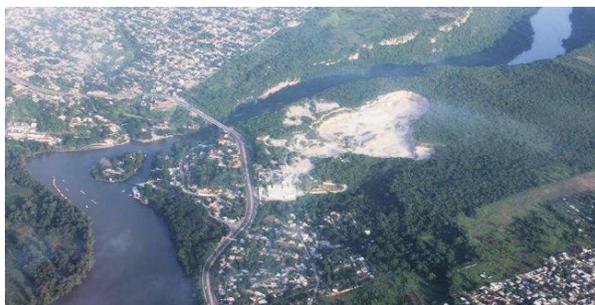


Figura 1. 4 (arriba) Deterioro ambiental debido a la extracción en canteras de materiales pétreos en Cañón del Sumidero Fuente: Frankof



Figura 1. 5 (derecha) Extracción de arena en el río Santo Domingo en Chiapa de Corzo Fuente: Misael Zeñay

Puntualmente los principales impactos ambientales según lo mencionado se resumen en: destrucción de una parte de la flora, perturbación temporal de la fauna, compactación del suelo, mala calidad del aire, contaminación por ruido y contaminación visual.

Desechos y bote

La otra gran categoría es la de desechos y bote, donde según los estudios de Hoornweg y Bhada-Tata en 2012 la producción mundial de residuos sólidos urbanos se calculó en alrededor de 1,300 millones de toneladas diarias. La generación global de RSU (ver Figura 1.6) muestra una disparidad regional en cuanto a su volumen, determinada, en general, por el desarrollo económico y la proporción de la población urbana (Hoornweg & Bhada-Tata, 2012)

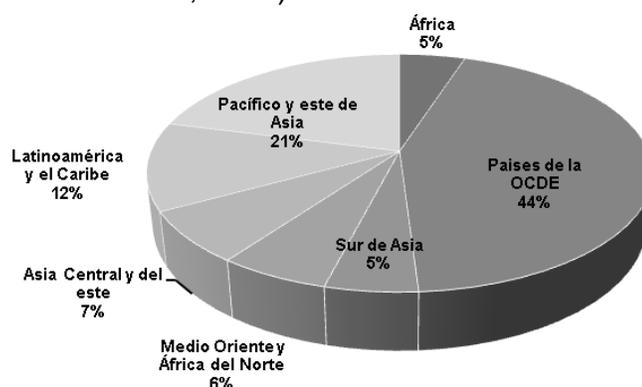


Figura 1. 6 Producción mundial de residuos sólidos urbanos Fuente: (Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, 2017) Elaborada por el autor.

En el año 2010, cerca del 44% de los RSU producidos en el planeta correspondieron a los países con las economías más desarrolladas de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.

En Europa la industria de la construcción (incluida la demolición) es la que aporta el mayor porcentaje de residuos en relación al total de generación de residuos por actividades económicas y hogares en el 2014 (en millones de toneladas), como lo demuestra la siguiente Tabla 1.3 (Eurostat statistics explained, 2017):

Tabla 1. 3 Generación de residuos por actividades económicas y hogares en el 2014 en la Unión Europea (países que generan más residuos) Fuente: Elaborada por el autor con Información de Eurostat explicaciones estadísticas.

	TOTAL	MINERÍA %	FABRICACIÓN %	ENERGÍA %	CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN %	% OTRAS ACTIVIDADES ECONOMICAS	HOGARES %
EU-28	2 502.9	28.1	10.2	3.7	34.7	14.9	213 410
ALEMANIA	387.5	1.9	15.8	2.6	53.3	16.9	9.5
FRANCIA	324.5	0.7	6.7	0.5	70.2	13.1	8.8
UK	251.0	10.5	3.2	1.3	48.0	26.0	11.0
ITALIA	159.1	0.6	16.7	2.0	32.5	29.5	18.6

“En México, según la cifra más reciente publicada en 2015, la generación de RSU alcanzó 53.1 millones de toneladas, lo que representó un aumento del 61.2% con respecto a 2003...” (Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, 2017)

Enfocándose en los RCD y derivados de los RSU existen los residuos de manejo especial (RME)...” siendo estos los materiales que se generan en los procesos productivos o de servicios y que no reúnen las características para ser considerados residuos sólidos urbanos o residuos peligrosos...La información sobre la generación y manejo de este tipo de residuos es limitada y se restringe a unos cuantos tipos de estos residuos...” como se observa en la Figura 1.7 (INECC, Semarnat, 2012).

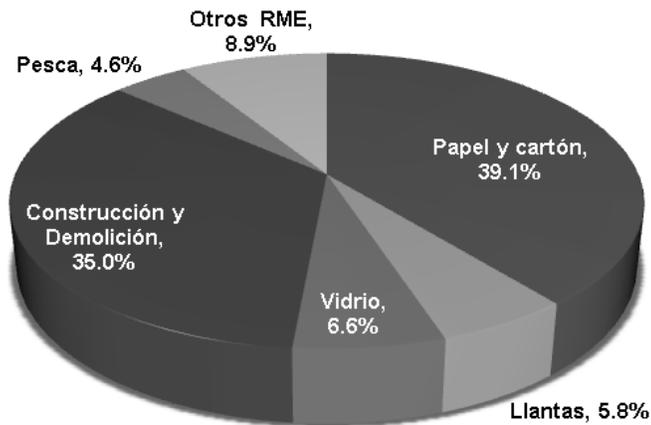


Figura 1. 7 Generación de RME en nuestro país durante el periodo 2006-2012. Fuente: (INECC, Semarnat, 2012). Elaborada por el autor.

El ignorar o realizar inadecuadas gestiones y generar excesivamente residuos por procesos constructivos no planificados pueden provocar la contaminación del ecosistema y afectar la salud humana. La valorización de estos residuos es nula y su uso como recurso es menospreciado; aun así, varios autores trabajan en el tema de la reutilización de RCD como se describe a continuación:

“Una ventaja de los RCD, es su elevado potencial de reciclaje para uso como materia prima en la producción de nuevos materiales, con esto, se obtiene una manipulación ambientalmente adecuada y la generación de productos para la vivienda y la infraestructura urbana.” (Rangel Martínez, 2012)

De la misma manera Cuchi y Sagrera (2007) establecen los principales impactos ambientales de la construcción desde el punto de vista de la generación de residuos y dentro de ellos se señala el bajo nivel de reciclaje y reúso de los residuos de construcción de materias primas a las cuales podrían haber sustituido, con la consecuente incidencia ambiental de su extracción y fabricación.

De igual importancia Acosta, Domingo (2009) establece que desde la etapa de proyecto se debe, y se puede, prever la magnitud de la producción de desechos contaminantes que la actividad de la construcción y la edificación misma producirán. Se deben identificar y cuantificar las emisiones y productos de todo tipo que se generan, evaluar la trascendencia de su impacto, y determinar qué medidas se

deben y pueden tomar para mitigarlo en todo el ciclo de vida del material componente, proceso o edificación en estudio.

Por consiguiente, dentro de todos los RCD se utilizarán las losetas cerámicas debido especialmente a que tienen una gran energía incorporada, principalmente por el elevado consumo de gas natural durante su cocción y a su constante en características físicas por sus estándares comerciales al contrario del concreto o los tabiques utilizados en la zona de estudio (Ver Figura 1.8).

Como lo señala Rangel (2012): los materiales cerámicos presentan dos características sobresalientes: son inertes químicamente y tienen una estructura interna compleja. Ello redundará en propiedades útiles, como elevada dureza a la compresión y baja conductividad eléctrica. En concordancia Tavakoli et. al. (2013) describe a los cerámicos como materiales de estructura física dura y también su estructura química los convierte en una opción adecuada para ser utilizados en concreto.

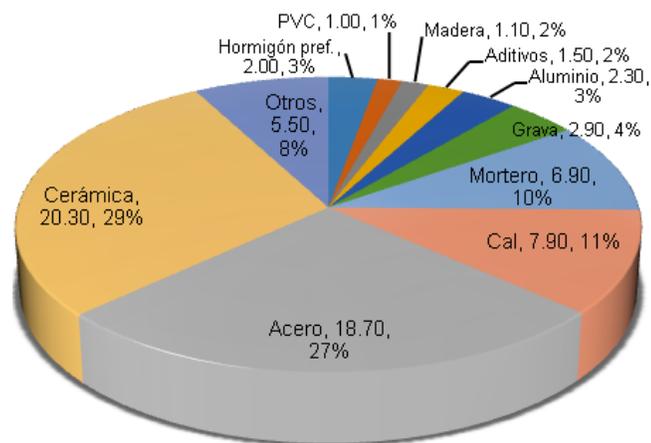


Figura 1. 8 Contribución de los materiales necesarios para la construcción de 1 m2 sobre las emisiones de CO2 asociadas a su fabricación. Fuente: Elaborada por el autor con información de Cuchí A, Wadel G, López F, Sagrera A, 2007.

En relación a lo anterior, es evidente que la utilización de los RCD derivados de las losetas cerámicas y el conocimiento de sus características físicas mejorarán la gestión de estos residuos y darán pie a la utilización de materiales reciclados logrando eficientar otros materiales y minimizando el impacto ambiental. Así lo describe Barrientos (2016):

“A pesar de todos los problemas que los RCD pueden ocasionar y las dificultades que plantea su tratamiento, cuando los residuos se gestionan de forma adecuada se convierten en recursos o subproductos, que contribuyen al ahorro de materias primas, a la conservación de los recursos naturales, del clima y, por ende, al desarrollo sostenible, de acuerdo con los principios de la economía circular.”

Por otro lado, *los materiales cerámicos representan alrededor del 45% de los residuos de construcción y demolición, y se originan no solo a partir del proceso de construcción, sino también como ladrillos y azulejos rechazados de la industria... pueden emplearse como materiales cementosos complementarios, o incluso como materia prima para los aglutinantes* (Reig, Mitsuuchi Tashima, Soriano, & Borrachero, 2013) ;lo que se confronta con lo señalado por Rangel (2012).

Justificación

Desde la perspectiva ambiental y de impactos negativos al medio inerte el reemplazar materiales pétreos por RCD induce a:

- Minimizar el consumo de materias primas (arena de río) y la energía consumida en la extracción (no considerando la energía de trituración de materiales). Sin que esto signifique que se pierdan las propiedades mecánicas de los materiales a elaborar con materia prima de desecho, ya que en general, el uso de azulejos de cerámica de desecho conduce a mejorar las propiedades de los concreto (Tavakoli, Heidari, & Karimian, 2013). Con respecto al primer punto en el 2014 el Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (UNEP) señaló que la extracción de arena y grava es de un impacto significativo sobre el medio ambiente y es un problema ignorado principalmente por los responsables (Global Environmental Alert Service GEAS, 2014).
- Minimizar la modificación artificial de la geomorfología del medio ambiente.
- Minimizar la contaminación de ríos por la actividad de dragados como los propone Acosta (2009) promoviendo la reducción del consumo de materia prima proveniente de recursos no renovables.
- Minimizar la contaminación atmosférica, al producir menos CO₂ en las actividades de extracción.

Según la UNAM falta realizar más estudios para determinar si estos residuos de materiales pueden aplicarse en concretos estructurales o no estructurales como morteros de albañilería, prefabricados, etcétera (DGDCUNAM, 2019).

Desde la misma perspectiva ambiental, pero de impactos negativos al medio biótico el reemplazo induce a:

- Minimizar la pérdida de hábitat por la extracción de materias primas.
- Minimizar la pérdida de hábitat por la ocupación de suelos con RCD, ya que el uso de desperdicios de baldosas en el concreto conduce a la eliminación de esos materiales del medio ambiente (Tavakoli, Heidari, & Karimian, 2013).

Desde la perspectiva social el reemplazar materiales pétreos por RCD induce a:

- Minimizar el ruido y las vibraciones por la extracción de materiales, así como el vertido de RCD.
- Minimizar la contaminación visual con respecto a la degradación del paisaje natural por extracciones y sitios de vertido de RCD. Estos sitios contaminan también visualmente al paisaje urbano.
- Beneficiarse de otras alternativas de consumo de materias primas, esto debido a que el consumismo desmedido es una de las principales causas del deterioro ambiental y agotamiento de recursos naturales (Tamayo, 2017).

Desde la perspectiva económica el reemplazar materiales pétreos por RCD induce a:

- Reducir costos por extracción; además que el uso del desperdicio de RCD se considera positivo económicamente (Tavakoli, Heidari, & Karimian, 2013).
- Generar materiales más económicos, ya que el agregado reciclado presenta el 65 % del costo del agregado natural (Bedoya Montoya & Dzul, 2015).
- La reutilización de los residuos estaría en concordancia con la promoción de desarrollo sostenible y fomento de nuevas oportunidades de negocio relacionadas con el manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos provenientes de la construcción (Chica-Osorio & Beltrán-Montoya, 2018).

Hipótesis

Las características físicas y mecánicas de las mezclas elaboradas a partir de RCD derivado de loseta cerámica, cemento y arena de río se alteran en aumento o deducción de las magnitudes de este RCD, los efectos variaran según el porcentaje de reemplazo del mismo dado por las características particulares de sus elementos.

El reemplazo de arena por RCD derivado de loseta cerámica en cantidades mayores al 30% para la elaboración de tabiques macizos de concreto (tabicón) estructural propiciará: mayor absorción de agua, mayor contenido de humedad y resistencias a la compresión similares a las mezclas de agregados pétreos naturales; sin afectar los valores requeridos en las normas internacionales y nacionales como la ASTM C-55 y la NMX-C-404-ONNCCE-2012.

Objetivo General

Evaluar la factibilidad del uso de **Residuos de Construcción y Demolición (RCD)** derivados de losetas cerámicas, como reemplazo de agregado fino en la elaboración de tabiques macizos de concreto (tabicón) para uso estructural.

Objetivos particulares

- Caracterizar el RCD derivado de la loseta cerámica como agregado fino y los materiales a utilizar en la elaboración de tabiques macizos de concreto (cemento, agregados finos y agua,
- Determinar por medio de la experimentación en laboratorio y según diseño experimental los porcentajes a reemplazar de RCD derivado de loseta cerámica en la elaboración de tabiques macizos de concreto (tabicón) para uso estructural, su diseño geométrico, dimensiones, absorción y verificándolos con los métodos señalados en la Norma NMX-C-404-ONNCCE-2012.
- Analizar y evaluar los resultados de las especificaciones y métodos de ensayo en relación al reemplazo de RCD derivado de la loseta cerámica en la elaboración de tabiques macizos de concreto (tabicón) delimitados por las variables de control.

1.2 Antecedentes

El concepto general sobre los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), su naturaleza y características han de ser la guía para la elección del o los residuos ajustables a este proyecto, así como la base conceptual de la propuesta para minimizar el impacto ambiental que genera (Ver Figura 1.9).

Residuos de construcción y demolición

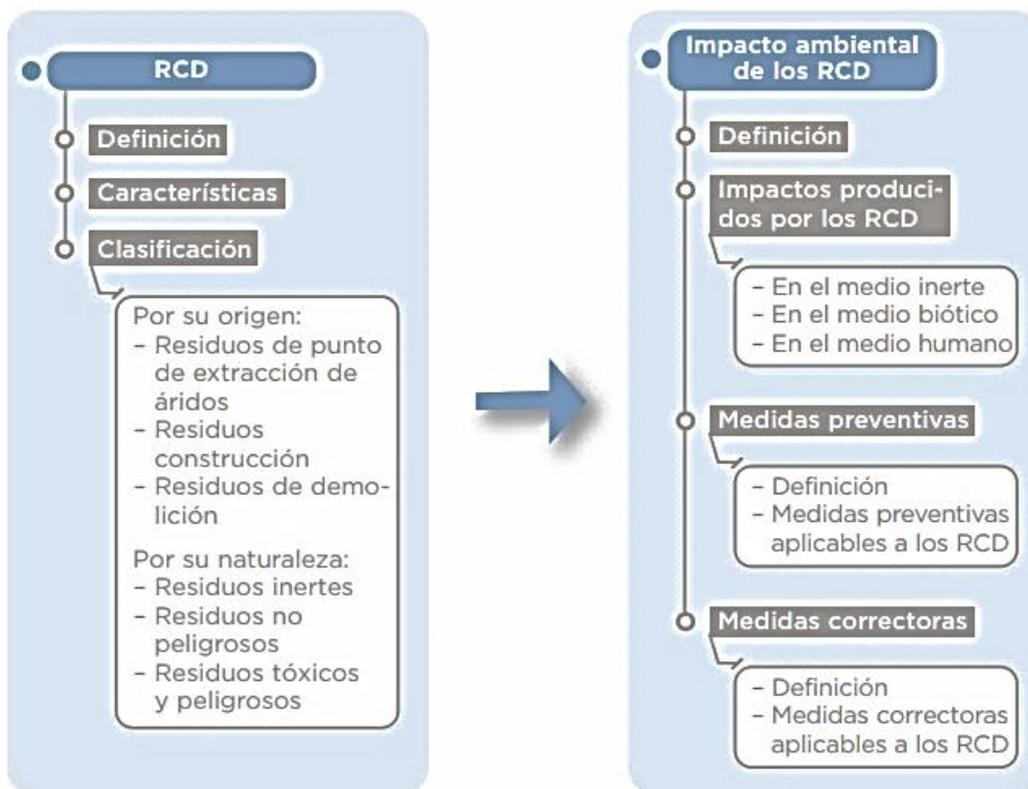


Figura 1. 9 Mapa conceptual de los RCD Fuente: (De Santos Marián, Monercillo Delgado, & García Martínez, 2011)

Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

La industria de la construcción es una actividad de gran importancia y a la vez una gran generadora de residuos. Estos residuos en general no presentan problemas de insalubridad a corto plazo en comparación con los domésticos, ya que no se degradan rápidamente y no producen malos olores; esto genera la idea de que no contaminan por lo cual se arrojan en cualquier sitio. Sin embargo, algunos RCD si contaminan y generan problemas de salud. Por ello es importante conocer su definición, características y clasificaciones.

Definición y características de los RCD:

Se denomina RCD a todos los sobrantes procedentes de:

- Canteras, graveras y otros puntos de extracción de áridos destinados a la construcción.*
- Obras de construcción de nuevas edificaciones u obras civiles.*
- Obras de rehabilitación o restauración de edificaciones u obras civiles.*
- Obras y reformas domiciliarias de pequeñas dimensiones.*
- Rechazos procedentes de la fabricación de materiales destinados a la edificación o a la obra civil.*

(De Santos Marián, Monercillo Delgado, & García Martínez, 2011)

Según De Santos Marian et al. (2011) los resultados y estudios de varias investigaciones arrojan que de todos los RCD generados, el 75% aproximadamente concierne a materiales pétreos básicamente inertes y usualmente conocidos como “escombros”. El otro 25% se considera una composición de varios materiales con distintos orígenes y sin la gestión adecuada de peligro para el ser humano.

Los RCD tienen distintas características dependiendo su clasificación y atendiendo a su origen o a su naturaleza.

Los RCD, según su origen, se clasifican en:

- Residuos procedentes de puntos de extracción de áridos o puntos de la obra donde se realicen movimientos de tierras puros, sin intervenir otra actividad constructiva - de origen pétreo sin contaminación por otras sustancias.
- Residuos procedentes de obras de construcción - compuestos fundamentalmente de escombros (el 75%) y otros materiales procedentes de la obra, con una gran cantidad de plástico y papel.
- Residuos procedentes de obras de demolición - con composición similar a los de las obras de construcción, pero mucho más contaminados, lo que dificulta su clasificación y gestión.

Los RCD, según su naturaleza (relacionada a su procedencia), se clasifican en:

- Residuos inertes - restos de concretos, ladrillos, tejas, vidrio y cualquier tipo de tierra o canto.
- Residuos no peligrosos - madera, algunos plásticos, papel, yeso, textiles y la mayor parte de los metales.
- Residuos tóxicos y peligrosos - pinturas y disolventes (incluidos los envases), plomo, amianto y sus derivados y los residuos radioactivos.

La construcción y demolición producen impactos negativos en el medio ambiente que se atribuyen a los residuos producidos durante la extracción de los materiales pétreos y durante la elaboración de materiales, construcción y demolición. Durante la acción extractiva el impacto perjudicial es la propia extracción.

“Un impacto ambiental se define como cualquier modificación producida en el medio a causa de la acción humana.” (De Santos Marián, Monercillo Delgado, & García Martínez, 2011)

Los RCD producen impactos ambientales negativos en:

- El medio inerte (clima, atmósfera, geología e hidrología).
- El medio biótico (suelo, vegetación y fauna).
- El medio humano (condiciones socioeconómicas y de calidad ambiental de los seres humanos, los sistemas de aprovechamiento de recursos, la calidad y presencia de patrimonio y las condiciones perceptuales del paisaje).

Con respecto a lo anterior es importante trabajar con un RCD clasificado por su origen, aquellos procedentes de obras de construcción o de demolición (y de este último gestionar la clasificación de los residuos en obra) por la facilidad de obtención y su menor porcentaje de reutilización. Por su naturaleza se seleccionan los materiales inertes al constituir el mayor porcentaje de los RCD evitando los tóxicos o peligrosos.

El uso histórico de los RCD

“Los Residuos de Construcción y Demolición como Apropiación o Necesidad”

El uso de los RCD en la elaboración de nuevos materiales o utilizados en construcciones nuevas o reformadas, se remonta al siglo IV y al estímulo de grandes personajes históricos junto a sus arquitectos principalmente en la arquitectura romana; ejemplo de ello son los investigadores que destacan el importante papel del emperador Constantino como impulsor de la reutilización, y señalan a esta última de la siguiente manera:

“Este reemplazo también se ha considerado un fenómeno ideológico de recuperación, preservación y apropiación del valor de lo expoliado.” (Utrero Agudo & Sastre De Diego, 2012)

Esta reutilización se consideraría como un recurso constructivo que manifiesta la carencia de medios en obras desatendidas, en las cuales el pillaje o hurto permitía ahorrar tiempo y dinero, de este modo los materiales en la construcción y su reutilización puede entenderse como respuesta universal a las limitaciones de la tecnología o los recursos (Kinney, 2006). Así pues, Utrero y Sastre (2012) señalan que esta reutilización de materia prima y *“su habitual y extendida presencia la convierte en un aspecto fundamental de la tecnología y en un recurso a tener en cuenta, pues debemos pensar que, al igual que el material extraído en cantera, formaba parte de la génesis y desarrollo del proyecto constructivo. No era un elemento sorpresivo, sino integrante.”* (Utrero Agudo & Sastre De Diego, 2012) y ejemplo de ello se evidencia en la Basílica de Santa María de los Arcos en La Rioja, España en el siglo V (Figura 1.10); cuyos muros y pilastras se elevan con material de construcciones romanas.



Figura 1. 10 Nave de la Basílica de Santa María de los Arcos Fuente: W. Alberto Sifuentes G.

Con la conquista de América por parte de España y Portugal en el siglo XVI, se establecen sistemas virreinales y coloniales que impusieron su cultura a las poblaciones indígenas de grandes centros urbanos, en consecuencia (entre otras) se dio la destrucción de sus obras culturales y arquitectónicas como las ciudades de los pueblos originarios y junto a ellas sus templos y monumentos más importantes y representativos.

Después se construirían nuevos inmuebles sobre estos sitios prehispánicos de donde se obtendrían la piedra para la edificación de los mismos (Ordaz Tamayo, 2004). Un ejemplo de ello es la Iglesia de Santiago de Posta en Naranjito, Honduras (Ver Figura 1.11), construida con piedras talladas de un templo maya posiblemente del 900 A.C. (Hondurasisgreat.org, 2016)



Figura 1. 11 Iglesia Santiago de Posta en Honduras con piedras de obra con jeroglíficos mayas del 900 A.C. Fuente: Marbin Hernández

Otro ejemplo de uso de residuos de construcciones es el Coliseo de Roma en Italia (Figura 1.12) que después del terremoto que lo destruyó y el abandono en el que se encontraba, comenzó a ser utilizado como cantera de extracción de materiales para otros edificios en la ciudad antes del siglo XVIII. Después fue transformado en santuario cristiano, lo que favoreció la detención del saqueo y se encaminó hacia su conservación.



Figura 1. 12 Coliseo Romano como cantera y basurero recuperado en los siglos XVIII y XIX Fuente: Getty Images

En relación a los RCD derivados de los materiales cerámicos a principios del siglo XX Antonio Gaudí proyectaba con un característico dominio de la naturaleza sobre sus obras, desde estructuras arquitectónicas de formas naturales hasta elementos decorativos de concepción orgánica. También concebía un pensamiento ecologista que le llevó a reciclar materiales y a reutilizarlos, tales como: azulejos, trozos de cerámica, vajillas, vidrio, etc. Estos materiales se rompían en pedazos para después usarlos como recubrimientos de sus obras arquitectónicas (Figura 1.13). De esta manera estableció un nuevo sistema decorativo llamado “trencadís” (en catalán), que de manera rápida esta técnica entre otras simbolizó al Modernismo.



Figura 1. 13 Obra de Antonio Gaudí el Parque Güell en Barcelona, España Fuente: Tomada por el autor

Literalmente trencadís es traducible a “quebradizo” de trencar, “romper” (Estévez & Triadó Tur, 2002) y Gaudí empieza a ornamentar sus obras con esta técnica que al combinarla con su arquitectura volumétrica obtenía espectaculares efectos de reflejos al contacto con la luz.

El trencadís cerámico es el icono más representativo del Modernismo y de la arquitectura de Antonio Gaudí. (Saliné & Freixa, 2018)

En el mismo siglo XX, llegaría entonces el periodo de la segunda guerra mundial y más significativo de señalar para este trabajo el periodo de posguerra y con este las ciudades con mayor cantidad de escombros en m^3 , las cuales debían ser limpiadas y reconstruidas (Ver Tabla 1.4), hecho que se logró en menos de 10 años; gracias al trabajo de la administración local pública y privada (Diefendorf, 1993)

Tabla 1. 4 Ciudades con mayor cantidad de escombros en m3 Fuente: Diefendorf (1993)

Ciudad	Escombros en m³
Berlín	55,000.000
Hamburgo	35,800.000
Colonia	24,100.000
Dortmund	16,777.100
Essen	14,947.000
Frankfurt a. M.	11,700.000
Núremberg	10,700.000
Dusseldorf	10,000.000
Hannover	8,400.000
Bremen	7,920.000

En este mismo momento histórico y sobre la labor de limpiar estas y otras muchas ciudades europeas, surgiría una notable hazaña de reconstrucción urbana en la que participaron las mujeres alemanas (Ver Figuras 1.14 y 1.15). Según el Instituto de Historia Alemana (1997) *“estas mujeres habrían limpiado las ciudades bombardeadas del país y mantenían funcionando la economía devastada por la guerra en los años inmediatos de la posguerra, recibieron poco reconocimiento por sus contribuciones...Su condición temporal de Trümmerfrau (mujer que "limpia los escombros") confiada en sí misma fue rechazada en gran medida a favor de la imagen más tradicional...”* (German Historical Institute, 1997).



Figura 1. 14 Las mujeres de escombros alemanas empezaron a reconstruir Alemania después de la guerra Fuente: blogaleman.wordpress.com/ **Figura 1. 15 Trümmerfrauen Berlín 1945 Fuente: Fred Ramage**

Parte de los escombros de las ciudades se transportó a plantas de reciclaje para utilizarlo posteriormente en la reconstrucción. Escombros como: ladrillos, tejas, piedra, metal, arena, etc. fueron rescatados en buen estado e introducidos en una nueva cadena de construcción. Cada ciudad tenía distintas situaciones y necesidades por lo que los registros existentes relativos al reciclaje varían en: cantidades de escombros retirados; las cantidades procesadas; los diferentes materiales recuperados y el material elaborado a partir de ladrillo roto.

Como ejemplo en 1952, en Stuttgart, Alemania se había levantado el 88% de los escombros y se construyeron 10,000 viviendas con los materiales recuperados (Diefendorf, 1993). Con este último dato concuerda European Thematic Network (2000), donde expone que: *el uso de agregado reciclado data desde 1950 y se ha usado principalmente para la construcción de viviendas* (European Thematic Network, 2000).

Ya a finales del siglo XX la elaboración de concretos elaborados con agregados reciclados se llevó a cabo para la construcción de la ciudad olímpica de Barcelona en España (Altadill, Andrés, Bruno, & Bruno, 2012); las edificaciones situadas en la zona fueron demolidas, después se utilizaron procedimientos selectivos de demolición realizando in situ una inicial eliminación de contaminaciones. Posteriormente estos materiales se utilizaron para construir calles y carreteras (Ver Figura 1.16) de esta ciudad al igual que estructuras de rompeolas en la línea costera (Morel, Gallias, Bauchard, Mana, & Rousseau, 1994).



Figura 1. 16 Cinturón del Litoral en Barcelona
Fuente: ITeC

Posteriormente para el siglo XXI las tendencias a seguir a nivel mundial más por necesidad que por recurso constructivo o invención es el uso de materiales reciclados en las nuevas construcciones como edificios sostenibles. En Hong Kong el Wetland Park es el primer proyecto piloto del Departamento de Servicios de Arquitectura en utilizar agregados reciclados en concreto, entre muchos objetivos ambientales consistentes con el tema del proyecto utilizó un aproximado de 75% del volumen total de concreto con estos agregados (Chi-Sun & Dixon, 2007).

Actualmente en Europa el Reino Unido es el país que utiliza más concreto reciclado, seguido por Japón que le da uso a sus materiales de residuo; Estados Unidos, Alemania, Australia, Bélgica, Holanda y los Emiratos Árabes Unidos también se aplican técnicas de recuperación de desperdicios de construcción (Sakai, 2010).

Loseta cerámica, su historia y fabricación contemporánea

La loseta cerámica es históricamente conocida como “azulejo” y es una palabra de origen árabe y distingue una baldosa cerámica cubierta de un esmalte opaco, deriva del árabe “*al zulaycha*” o “*azuleich*” que significa pequeña piedra pulida (García Escudero, 2011). Desde el siglo XIII, en España y Portugal se utilizaron para cubrir y decorar paredes, suelos, techos, fuentes y chimeneas.

Los primeros azulejos conocidos son de Egipto y Mesopotamia. En el año 2620 A.C., se ordenó al famoso arquitecto Imhotep la construcción de una pirámide en Saqqara, donde las galerías que conducen a la cámara mortuoria están cubiertas con azulejos verdes y azules simulando papiros de las esteras de juncos que colgarían de las paredes del palacio real en Menfi (Ver Figura 1.17). La delicada capa de barniz vidriado opaco se considera entonces un hallazgo muy antiguo. Siendo esa técnica exclusivamente oriental, posteriormente olvidada y desconocida por el mundo greco-romano (Edwards, 2011).

En el siglo IX los persas redescubrieron el uso del estaño como un opacificante del vidrio; produjeron de nuevo azulejos con un esmalte opaco. Esta técnica se transmitió a todo el mundo árabe-musulmán, desde Constantinopla hasta España. Fue así como los árabes establecieron en Europa este arte oriental.

El primer uso de los azulejos en Europa fue para crear ensamblajes geométricos de piezas cortadas de cerámica técnica conocida como alicatado, de la cual existe aún el modelo original en la Alhambra de Granada, España (Ver Figura 1.18). Siendo este un proceso costoso, por la gran cantidad de trabajo de cortes y desperdicios en las baldosas.



Figura 1. 17 Decoración de las paredes con azulejos verdes y azules Fuente: Ancient Resource



Figura 1. 18 Cerámica arquitectónica Nazarí en Alhambra, Granada Fuente: Museo de la Alhambra.

Ya para el siglo XV se comienza a utilizar un molde con el patrón (negativo) que se presiona en la arcilla blanda para hacer los azulejos más económicos necesitando de un barro homogéneo y estable, donde, después de una primera cocción, se cubre con el esmalte que hará el vidriado. Los primeros centros de producción españoles fueron Málaga, Toledo y Sevilla.

En Italia alrededor del mismo siglo se desarrollaba una técnica con piezas de cerámica cubiertas con un esmalte de plomo opacificado con estaño, esta se llamaba “mayólica” y se caracterizaba por una elaborada decoración, esta se difundió en España por Pisano convirtiéndola ahí en una técnica artesanal y pictórica. La influencia de esta fue enorme y se extendió hasta Portugal (Ver Figura 1.19) donde este arte llegó a su cúspide hasta ser una característica del país. Posteriormente se extendió a Francia y a los países bajos. A partir de ahí los azulejos serían influenciados por el rococó, el neoclásico, el Modernismo y todas las corrientes arquitectónicas predominantes.



Figura 1. 19 Mosteiro de Alcobaça (Azulejos), Portugal Fuente: Pinterest

En América y con la conquista española a principios del siglo XVI se erigieron los primeros conventos dominicos los cuales ya manifestaban cerámica vidriada, y al no encontrar los primeros colonizadores piedras para las nuevas edificaciones, este material de recubrimiento se difundió rápidamente no obstante su alto costo de traslado.

En México la Dr. Yanes Rizo (2015) logró determinar que en 1550 un grupo de artesanos españoles (de Sevilla y Génova) se establecieron en la Nueva España, particularmente en Puebla y empezaron a elaborar un material nuevo: la loza estannífera (talavera). “Estos aprovecharon el conocimiento prehispánico que tenían los pueblos indígenas en el manejo de las arcillas, y lo incorporaron a sus talleres junto con el propio personal europeo...”

La talavera también se aplicó en los azulejos, primero dentro de los inmuebles, por ejemplo en cocinas, fuentes y altares, y después, principalmente en el siglo XVIII, en las fachadas de casas e iglesias (Yanez Rizo, 2015).

En Puebla, las primeras fábricas de cerámica se situaron al poniente de la ciudad, para evitar la contaminación de los hornos y sus humos, estas utilizaban arenas cercanas a la urbe. Para el siglo XVIII la competencia con mercancías extranjeras desencadenó una decadencia en la manufactura de losetas regionales y dio comienzo a un mercado más amplio para el comprador (García Escudero, 2011), al igual que un uso generalizado por todo el país. Actualmente el uso de este material no es limitado para una región geográfica por lo cual su fabricación se referencia de manera general a continuación.

El proceso cerámico para un producto cerámico como lo son las losetas (entre muchos otros) consta de cinco pasos (Galán Huerto & Aparicio Fernandez, 2006) como se ve en la Figura 1.20 de los cuales el paso 1 (materias primas) y el paso 5 (cocción) nos proporcionan información acerca de los materiales que forman al producto y su composición química misma al final del proceso.

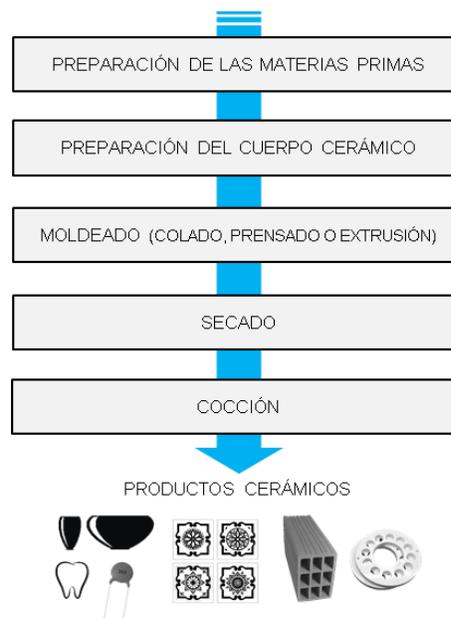


Figura 1. 20 Fases del proceso cerámico Fuente: Elaborada por el autor con información de Galán Huerto et all (2006).

Así lo describe Galán y Aparicio (2006) en donde los productos que constituyen la "cerámica tradicional", están preparados con materias primas naturales, esencialmente arcillas. Y definen a la arcilla como *“una roca sedimentaria formada por partículas muy finas, que mezclada con agua es plástica, que endurece con el secado y calor, y que contiene filosilicatos y otros minerales que le imparte las mismas propiedades (minerales de la arcilla) ... tienen otros minerales diferentes de los anteriores, que se denominan minerales asociados (cuarzo, feldespatos, calcita, pirita)”*.

De lo anterior, el cuarzo es un mineral compuesto de sílice (SiO₂), Los feldespatos son un grupo de minerales tectosilicatos y aluminosilicatos, su composición constituyente de rocas corresponde a un sistema ternario compuesto de ortoclasa (KAlSi₃O₈), albita (NaAlSi₃O₈) y anortita (CaAl₂Si₂O₈). La calcita es un mineral formado por carbonato cálcico (CaCO₃) y la pirita es un mineral del grupo de los sulfuros cuya fórmula química es FeS₂ constituido básicamente por un medio de azufre y un medio de hierro. De estos cuatro minerales el primero existe en mayores cantidades en el planeta junto a los feldespatos, sin embargo, la presencia del cuarzo es mayor en las arcillas en comparación de los últimos.

“En general las materias primas cerámicas mayormente utilizadas son silicatos y rocas silicatadas” (Galán Huerto & Aparicio Fernandez, 2006)

En relación a la obtención de materias primas Galán y Aparicio (2006) señalan que las reservas de arcilla a nivel mundial son ilimitadas, por lo que se aprovechan preferentemente los yacimientos más cercanos a las industrias para minimizar costos, estas arcillas se conocen como comunes (Ver Tabla 1.5).

Tabla 1. 5 Composición química de arcillas comunes utilizadas para cerámica estructural Fuente: Elaborada por el autor con información de Galán et al. (2006).

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	PC	CaCO ₃
1	49,50	13,46	3,98	0,27	1,94	11,90	1,84	2,11	15,54	20,51
2	46,01	13,62	4,48	0,23	1,75	13,52	2,02	2,28	15,70	22,37
3	39,24	15,01	3,74	0,45	2,51	16,74	1,19	2,25	18,56	28,30
4	46,12	14,81	6,21	0,09	1,92	11,51	1,97	1,92	16,52	20,22
5	47,31	14,23	6,51	0,07	2,07	10,21	2,04	2,07	15,42	18,78

Con esto podemos distinguir que en la etapa 1 de selección de materias primas los componentes químicos que más encontramos son sílices en casi 50%, alúmina, cal, policarbonatos y carbonato de calcio.

En la etapa 5 de cocción y dependiendo de las características específicas de la arcilla común para la elaboración de losetas, los resultados mineralógicos posteriores

a la fase de cocción por arriba de 850°C de temperatura y de acuerdo a la clasificación a partir de los trabajos de Galán et al (2006) se pueden establecer como lo describe la Figura 1.21 sobre el comportamiento térmico de materias primas cerámicas tradicionales.

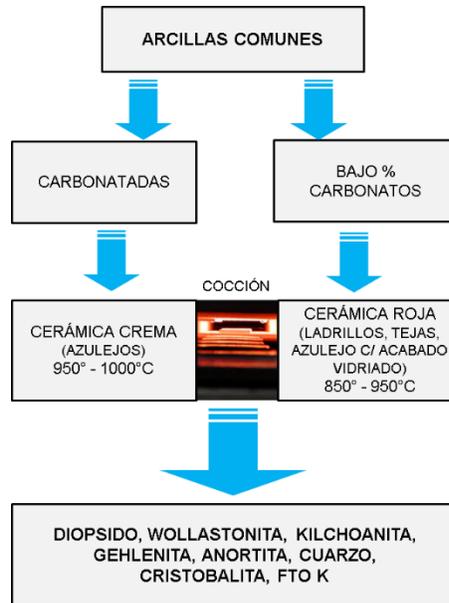


Figura 1. 21 Comportamiento térmico de la arcilla común (materia prima de cerámicas tradicionales). Fuente: Elaborada por el autor con información de Galán et al (2006).

De lo anterior se presenta la composición química de cada mineral:

- Diopsido: $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ (silicatos)
- Wollastonita: CaSiO_3 - Ca_3 (silicato de calcio)
- Kilchoanita: $\text{Ca}_6(\text{SiO}_4)(\text{Si}_3\text{O}_{10})$ (silicatos)
- Gehlenita: $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{SiAl})\text{O}_7$ (sorosilicato)
- Anortita: $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (aluminosilicato de calcio)
- Cuarzo: SiO_2 (sílices)
- Cristobalita: SiO_2 (sílices-estruc. cristalina)

Lo que resulta en composiciones químicas de la cerámica (ya en su fase de producto como loseta) principalmente de sílices, silicatos y aluminosilicatos.

Estado del Arte

El desarrollo de varias investigaciones están orientadas al aprovechamiento de los RCD para la generación de nuevos materiales, su implementación y la necesidad de un cambio cultural progresivo de los actores de la industria de la construcción; a continuación se presenta la siguiente tabla (Ver Tabla 1.6) elaborada con los documentos, libros, artículos de revistas científicas, etc., que son ejemplo de lo que se trabaja y desarrolla en otros países (ver Figura 1.22) con referencia al tema abordado; y han servido como base para el trabajo de investigación y soporte bibliográfico a la presente.

Tabla 1. 6 Estado del Arte. Resumen de investigaciones orientadas al aprovechamiento de RCD Fuente: Elaborada por el autor

N°	AÑO	AUTOR	LUGAR	DOCUMENTO	TÍTULO	METODOLOGÍA
				RCD		
01	2018	James, Jijo & Kasinatha Pandian, Pitchai	India	Artículo de Revista – sciELO	Strength and microstructure of micro ceramic dust admixed lime stabilized soil	La metodología de la investigación se realiza por etapas
02	2017	Pacheco Bustos, Fuentes Pumarejo, Sánchez Cotte, & Rondón Quintana	Barranquilla, Colombia	Artículo de Revista – Redalyc.org	Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión	Encuesta y Diagnóstico
03	2016	Carvajal Muñoz, Juan Sebastián & Carmona García, Charlie Esperanza	Colombia	Artículo	Gestión integral de residuos de construcción y demolición en Colombia: una aproximación basada en la metodología del marco lógico	Marco lógico
04	2015	Agreda Sotelo, Gonzalo Alfonso & Moncada Moreno, Ginna Lizeth	Bogotá, Colombia	Tesis	Viabilidad en la elaboración de prefabricados en concreto Usando agregados gruesos reciclados	Normativa colombiana (NTC-4109)
05	2014	Rosas Chaves, Andrés	Bogotá, Colombia	Tesis de Maestría en Construcción	Mobiliario urbano prefabricado en concreto con agregado grueso reciclado	Norma Técnica Colombiana 4109
06	2014	Ihobe en colaboración con BLOC VAXA S.L. y la Universitat Politècnica de Catalunya.	España	Manual	Manual para la redacción de estudios de gestión de RCD en obras de edificación, rehabilitación y demolición	Cumplimentación del Decreto 112/2012 objetivos tipo SMART (específico, Medible, Alcanzable, Realista, Temporizable)
07	2013	Tavakolia, D., Heidari, A. & Karimianb, M.	Iran	Artículo de Revista Asian Journal of Civil Engineering	Properties of concretes produced with waste ceramic tile aggregate	Norma ASTM C 192
08	2013	Sampaio Lima, Adriana & Bezerra Cabral, Antonio Eduardo	Brasil	Artículo Técnico	Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE)	CONAMA n° 307 e com a NBR 10004
09	2012	Rangel Martínez, Yamilé	Hidalgo, México	Tesis Doctoral en Ciencias Ambientales	Procesos unitarios de recuperación de residuos de construcción, demolición, y jales de la minería: desarrollo de agregados pétreos	Metodología Experimental
10	2011	Escandón Mejía, Juan Camilo	Bogotá, Colombia	Tesis Pregrado	Diagnóstico Técnico Y Económico del aprovechamiento de Residuos de Construcción y Demolición en edificaciones en la ciudad de Bogotá.	Decreto Distrital 312 de 2006 Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos para Bogotá.
11	2009	Cabral A.E.B., Schalch V., Dal Molin D.C.C., Ribeiro J.L.D. & Rasiah Sri Ravindrarajah	Fortaleza, Brasil	Revista Científica	Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha	Proyecto experimental con variables independientes.
12	2009	Mac Donnell, Horacio Patricio & Massera, Álvaro	Buenos Aires, Argentina	Cátedra de sistemas constructivos	Laboratorio de Hormigones Livianos (Hormigón espumado RDC)	Norma IRAM 1622
13	2008	Martel Vargas, Guerry Jack	México	Posgrado en Ingeniería	Caracterización de residuos de la Construcción y demolición de Edificaciones para su aprovechamiento	Norma Ambiental para el Distrito Federal "NADF-007-RNAT-2004"

N°	AÑO	AUTOR	LUGAR	DOCUMENTO	TÍTULO	METODOLOGÍA
RCD						
14	2007	Mercante, Irma Teresa	Argentina	Revista Científica	Caracterización de residuos de la Construcción. Aplicación de los índices de generación a la gestión ambiental	Esquema planteado y análisis
15	2007	Bezerra Cabral, Antonio Eduardo	San Pablo, Brasil	Tesis Doctoral	Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RDC	Variáveis de composición de RDC, desempeño mecánico
16	2007	Poon C.S. & Chan D.	Hong Kong	Revista Científica	The use of recycled aggregate in concrete in Hong Kong	-
17	2003	Bedoya Montoya, Carlos Mauricio	Medellín, Colombia	Tesis de Maestría en Hábitat	El concreto reciclado con escombros como generador de Hábitats urbanos sostenibles	Análisis sobre la teoría termodinámica de la entropía.
18	2001	Sánchez de Rojas M. I. , Marín F.P., Frías M. & Rivera J.	España	Revista Científica	Viabilidad de utilización de materiales de desecho procedentes de productos cerámicos en prefabricados de hormigón.	Metodologías de laboratorio y pruebas piloto
19	2001	González Martínez, Ana Citlalic	México, D.F.	Revista Científica	Costos y beneficios ambientales del reciclaje en México	Transferencia de beneficios
AGLUTINANTES						
20	2011	Cedeño Valdiviezo, Alberto	México, D.F.	Revista Científica	Aglomerantes, morteros y aplanados adecuados para proteger el medioambiente	Investigación
21	2008	Hernández Moreno, Silverio	Toluca, México	Revista Científica	Diseño sustentable de materiales de construcción; caso del concreto de matriz de cemento Pórtland	Método selectivo y evaluación
22	2005	Ochoa, María Teresa & Toirac Corral, José	Santo Domingo, República Dominicana	Revista Científica	Materiales de bajo costo para la construcción de viviendas económicas	Método Experimental



Figura 1. 22 Mapa de ubicación de referencias del Estado del Arte Fuente: Elaborada por el autor.

Del capítulo primero se desprende la importancia y necesidad de buscar alternativas de materias primas en la industria de la construcción, además de reutilizar y reciclar los residuos que esta misma produce. El problema conduce en este caso a un residuo en particular derivado de ciertas consideraciones y justificaciones, por lo que los objetivos se enfocan en ello. Los antecedentes clasifican estos residuos, el uso histórico da las bases para establecerlo contemporáneamente y el estado del arte señala la viabilidad de estos materiales de desecho.

Capítulo 2. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

2.1 Introducción

En el actual capítulo se presenta la base teórica que atiende la investigación, sobre el apartado 2.2 los conceptos descritos que se presentan se deben de adoptar de forma tal como se describen, por ello no debe haber una interpretación particular por parte del lector. En el apartado 2.3 correspondiente al Marco teórico sobre RCD se ve el enfoque de los informes, documentos de convenciones, protocolos, etc. hacia el objeto de estudio que son los RCD derivados de losetas cerámicas, desde el punto de vista sustentable. Se presenta en el apartado 2.4 la caracterización y valorización de los RCD; así como los materiales seleccionados (apartado 2.5) y el uso o destino de ellos. De la misma forma se selecciona el método de análisis (apartado 2.6) para los resultados obtenidos y describe el objeto de estudio (apartado 2.7).

2.2 Marco conceptual enfocado a los RCD

Agglutinantes: son sustancias que a través de reacciones químicas o físicas tienen la capacidad de unir fragmentos de uno o más materiales, para constituir un producto o sub-producto compacto de utilidad en el campo de la construcción. Clasificación: Conglomerantes cuando la unión ocurre mediante transformaciones químicas. Como por ejemplo el yeso hidráulico, la cal y el cemento. Aglomerantes: aquellos en los que la unión tiene lugar a través de procesos físicos. Ejemplos: el barro, el alquitrán, la cola blanca, etc. (Directorio de Construcción, 2010)

Agregados: Los agregados son materiales pétreos naturales seleccionados; materiales sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, o materiales producidos por expansión, calcinación o fusión excipiente, que se mezclan con cemento Portland y agua, para formar concreto hidráulico. Los agregados para concreto hidráulico se clasifican en: Agregado Fino, Agregado Grueso, Fragmento de Roca y Agregado Ligerero. (SCT, 2002)

Agregado fino: Material conocido como arena. Material obtenido de manera natural o de la trituración de rocas, escoria volcánica, concreto reciclado o una combinación de estos u otros; que pasa por la criba 4.75mm (malla No. 4) y se retiene en la criba 0.075 mm (malla No. 200). (ONNCCE, S.C, 2004)

Agregado grueso: Material generalmente conocido como grava. Material obtenido de manera natural o de la trituración de rocas, escoria de alto horno, escoria volcánica, concreto reciclado o una combinación de estos u otros; que es retenido por la criba 4.75 mm (malla No. 4) y que pasa por la criba 90 mm (malla No. 31/2”). (ONNCCE, S.C, 2004)

Área total (bruta): Es la resultante de multiplicar el largo por el ancho de la pieza. (ONNCCE, 2012)

Baldosa: Pieza fina de cerámica, mármol o piedra, de forma cuadrada o rectangular, para cubrir suelos o paredes. (Real Academia Española, 2017)

Baldosa de Cerámica: Baldosa compuesta de arcillas, caolines, sílice, fundentes y otros componentes, sometidos a alta cocción, que puede presentar aspectos diferentes y llevar o no esmalte. (Construmatica.com, 2009)

Tabique: Es una pieza maciza de concreto (tabicón) que debe cumplir con las siguientes dimensiones mínimas: 60 mm de alto, 100 mm de ancho y 240 mm de largo (ONNCCE, 2012).

Cemento: Conglomerante hidráulico producto del amasado con el agua, que fragua y endurece tanto expuesto al aire como sumergido en agua. (Jiménez Montoya, García Meseguer, & Morán Cabré, 2000)

Cerámico: Proviene de la palabra griega "Kerameicos", que significa "de barro" y es el producto final de un proceso industrial (proceso cerámico) en el que se transforman y endurecen los materiales de partida (materias primas)". (Galán Huerto & Aparicio Fernandez, 2006)

Concreto: es un material compuesto que consiste esencialmente de un medio cementante donde se embeben partículas o los fragmentos de agregados. (American Concrete Institute, 2001)

Dimensiones de fabricación: Es la dimensión especificada para la elaboración de la pieza (sin el espesor de la junta de albañilería), a la cual se debe ajustar la dimensión real dentro de las tolerancias permitidas (ONNCCE, 2012).

Dimensión real: Es la medida de cada pieza obtenida por medición mediante el método de ensayo especificado en la norma mexicana NMX-C-038-ONNCCE. (ONNCCE, 2012)

Intemperismo: Es el efecto de la acción del medio ambiente sobre los agregados en su estado natural. (ONNCCE, S.C, 2004)

Loseta: Ver baldosa. (Real Academia Española, 2017)

Módulo de finura: Es la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados a partir de la criba 4.75 mm (malla No. 4) hasta la criba 0.150 mm (malla No. 100), divididos entre 100. Aplicable al agregado fino. (ONNCCE, S.C, 2004)

Mortero: clase especial de concreto, que sólo contiene agregados finos, pero que en sus componentes es básicamente igual. (Salamanca Correa, 2001)

Pieza de mampostería: Es un elemento prismático rectangular, que puede ser fabricado con arcilla "barro" comprimida o extruida sometida a un proceso de cocción o por el moldeo con o sin vibrocompactación de una mezcla de agregados pétreos, cemento hidráulico y otros

cementantes (pieza de concreto) o bien fabricada con otros materiales con procesos diferentes. (ONNCCE, 2012)

Pieza de mampostería para uso estructural: Son los elementos de mampostería con las propiedades mecánicas necesarias para construir un muro con un espesor de mínimo 100 mm que tenga capacidad para soportar las cargas que se generan por acciones gravitacionales y accidentales (sismo, viento, etc.). Las piezas huecas deben tener celdas o perforaciones ortogonales a la cara de apoyo (solo se admiten piezas con huecos verticales). (ONNCCE, 2012)

Prefabricado: adj. Dicho de una construcción: Formada por partes fabricadas previamente para su montaje posterior. (Real Academia Española, 2017)

RCD: Residuos de construcción y demolición. (Serrano Yuste, 2018)

Reactividad potencial: Es la medida de la susceptibilidad para que ocurran reacciones químicas cuyos efectos son cambios volumétricos adversos a la integridad del concreto, que tienen lugar con cierta clase de agregados cuando éstos entran en contacto con la pasta de cemento, las reacciones ocurren entre la sílice o el carbonato de ciertas rocas o minerales que forman parte de los agregados y los álcalis (óxido de sodio y de potasio), que normalmente provienen del cemento. Estas reacciones se conocen como reacción álcali-sílice y álcali-carbonato. (ONNCCE, S.C, 2004)

Reciclado: Transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2018)

Residuo: Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2018)

Reutilizar: El empleo de un material o residuo previamente usado, sin que medie un proceso de transformación (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2018)

RS: Resistencia a los sulfatos (CEMEX, 2014)

Sustancias nocivas: Se consideran sustancias nocivas en los agregados: terrones de arcilla y partículas deleznable, carbón y lignito, materia orgánica, material fino que pasa la criba 0.075 mm, agregados potencialmente reactivos con los álcalis del cemento, materiales intemperizados, y materiales con limitada resistencia al impacto y la abrasión. (ONNCCE, S.C, 2004)

Tipo II: (En cementos) Para uso general, más específicamente cuando se desea resistencia moderada a los sulfatos. (ASTM International, 2018)

2.3 Marco teórico sobre RCD

“Desde los Límites del Crecimiento hasta la Minería a la Inversa”

En 1972 el mundo ya recibía una conclusión específica y determinante en relación al informe sobre Los Límites del Crecimiento: “si el actual incremento de la población mundial, la industrialización, la contaminación, la producción de alimentos y la explotación de los recursos naturales se mantiene sin variación, alcanzará los límites absolutos de crecimiento en la Tierra durante los próximos cien años.” derivado del modelo económico dominante en el mundo y que el crecimiento demográfico ya concebía consecuencias ecológicas negativas, por lo que proyectar este escenario hacia un futuro cercano fue un paso más que indiscutible para conocer que se esperaba. Ese mismo año, dicho informe sería la reseña más significativa en la Declaración de Estocolmo la cual señalaría los principios para la conservación del medio ambiente con lo se reconocería su importancia en el desarrollo de la humanidad.

El concepto de sostenibilidad o sustentabilidad aparecería por primera vez en 1987 con el informe llamado “Nuestro Futuro Común” el cual se definiría como el *“Desarrollo que satisface las necesidades presentes sin comprometer la posibilidad de que las generaciones futuras puedan satisfacer las suyas”* (Asamblea General de las Naciones Unidas, 1987) y aunado a este informe se sumarían otros más los cuales pretendían (y son vigentes al día de hoy) acciones de desarrollo sostenibles globales.

En 1992 el informe anterior (de 1972) había quedado rebasado, lo que debía suceder en 100 años se había cumplido en menos de 20 años. En Mas allá de los Límites del crecimiento se nos reiteraba y determinaba que el desarrollo afrontaba los límites reales del planeta, tales como abastecer las materias primas y/o los flujos de energía con recursos finitos y delimitar los espacios apropiados para contener la contaminación y los residuos que se generan.

“Tanta esperanza, tantas identidades personales, tanta moderna cultura industrial, se han construido sobre la premisa del perpetuo crecimiento material”. (Meadows, Randers, & Meadows, 1992)

Para ese mismo año en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro se trataban entre otros temas, la investigación sistemática de modelos de producción especialmente de los residuos contaminantes y componentes tóxicos. Derivando de esta cumbre se realizó el acuerdo nombrado el Protocolo de Kioto sobre el cambio climático en 1995 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Este Protocolo de Kioto logró relacionar lo que habría comenzado en Rio de Janeiro 3 años antes con el compromiso de tomar acciones para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero entre los años 2008 – 2012 y se promovió

un desarrollo sostenible, en el cual se utilizaran otro tipo de energías y de este modo disminuir el calentamiento global.

Siguiendo en la misma temática, la actualización de Los Límites del Crecimiento 1972 y 1992 llegan Los límites del crecimiento: 30 años después (2002) y en ella se puntualiza que: “no puede haber un crecimiento poblacional, económico e industrial ilimitado en un planeta de recursos limitados”, los recursos se agotan y la contaminación no cesa.

Es importante destacar la relevancia que ya se daba a los recursos, en este caso las materias primas, motivo principal de este trabajo, sin que el mismo demerite la importancia de otros conceptos.

La sustentabilidad se enfoca en tres dimensiones sobre las cuales se espera mantener un equilibrio, estas son: lo ecológico, lo social y lo económico. Sin embargo, cabe destacar que los autores como Sachs las manejan en su concepto primario como iguales; cuando en realidad una es más relevante que la otra al hacer relaciones de dependencia. La parte ecológica puede no depender de lo social y lo económico, aunque estos dos último necesitan al primero.

Por lo anterior y desde el ámbito de la arquitectura y de la sustentabilidad se pretende fortalecer esta dimensión ecológica, abordando dos problemas como lo son la extracción de recursos naturales y los desechos contaminantes, con el estudio de los RCD.

2.4 Caracterización y valorización de los RCD

Cada material conserva características inherentes a su naturaleza, sean puros o compuestos (Vargas Robles, 2007). Estos últimos relacionan las características individuales de sus componentes originales y obtienen nuevas particularidades que son consecuencia de la relación entre ellos. Es así como los mismos RCD también conservan estas características que ya sean físicas o químicas repercutirán en su valorización. Como parte de esta valorización para los RCD se deberían destacar las alternativas de uso y de manejo apropiado, desde su generación hasta su ocupación final; aunque finalmente esto no se ha logrado exitosamente de manera local. El recuperar energía de los residuos, implica valorizar energéticamente el residuo (Mercante, 2007).

A continuación, la siguiente tabla 2.1 elaborada por el Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción en España, presenta los ensayos para conocer las características de los RCD potencialmente reciclables en planta (Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA, 2010).

Tabla 2. 1 Características de los RCD Fuente: Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA, 2010, Elaborada por el autor.

Material	Maquinaria de trituración	Características presentadas	Observaciones
Asfalto	Machacadora de mandíbulas	El agregado incluido sale limpio, distinguible pero difícilmente separable.	Heterogeneidad a las distintas fracciones
Cerámicos	Machacadora de mandíbulas	Cuando más pequeño es el tamaño de la partícula más cúbica es su forma. Gran cantidad de finos.	Material homogéneo
Concreto	Machacadora de mandíbulas	Se genera más ruido. Si el mortero es de buena calidad, se rompe antes el agregado que el mortero y viceversa.	No hay separación de los agregados del mortero y limpios.
Prefabricados de concreto	Machacadora de mandíbulas	Las baldosas al ser planas pasan sin sufrir reducción. Las fracciones pequeñas tienen un aspecto casi igual a las mismas fracciones que los ensayos con concreto.	Las partículas de mayor granulometría tienen forma alargada.
	Machacadora de impacto	Las baldosas se trituran.	Se obtiene mejores formas de las partículas de mayor granulometría.
Pétreos	Machacadora de impacto	Al ser planas pasan sin sufrir reducción. La forma de lasjas inherentes a este material no se soluciona con ningún método de reducción.	Se obtiene malas formas, partículas alargadas y planas. La capa vitrificada es muy abrasiva, pudiendo dar problemas en el mantenimiento de la machacadora.
	Machacadora de impacto	Evita las partículas aciculares.	El mortero se separa casi en su totalidad en todas las fracciones.

Los objetivos ambientales de fomentar la reducción, reutilización, reciclado y valorización de residuos se dirigen para los RCD especialmente en el reciclado, debido a que la mayor parte de estos residuos precisan de procesos o tratamientos previos con métodos y equipos adecuados, logrando que los productos ya reciclados cumplan con los requisitos técnicos necesarios para su utilización en la construcción (Rangel Martínez, 2012). La importancia de conocer plenamente los materiales y/o las materias primas que la industria edilicia maneja predominaría entonces no como simple información sino como requisito fundamental para usarlos.

2.5 Materiales

Las materias primas que forman al elemento de análisis y generan distintos efectos que son el objeto de estudio, forman parte primordial del presente trabajo (Ver Figura 2.1). A continuación, se tratan los puntos generales sobre los RCD derivado de losetas cerámicas, el Cemento Portland (CPO), el agua y la arena de río.



Figura 2. 1 Materiales Fuente: Elaborada por el autor

RCD derivado de losetas cerámicas

Es un material con bajo porcentaje de producción en comparación a otros RCD, pero desde la perspectiva de reutilización tienen un gran potencial de reuso; transformándolo y siguiendo la línea de proceso de: la reducción de tamaño (Chica-Osorio & Beltrán-Montoya, 2018). Es una pieza principalmente plana fabricada con arcillas (Ver Capítulo 1 Introducción, 1.2 Antecedentes tema: Loseta cerámica, su historia y fabricación contemporánea).

Cemento Portland (CPO)

Producto que se obtienen al calcinar hasta fusión parcial mezclas muy íntimas, preparadas artificialmente, de calizas y arcillas, hasta conseguir la combinación prácticamente total de sus componentes (Jiménez Montoya, García Meseguer, & Morán Cabré, 2000) (Ver Tabla 3.3 Análisis químico del Cemento Portland del apartado Caracterización del RCD derivado de loseta cerámica en Capítulo 3 de Materiales y Métodos).

Agua

El agua es una sustancia cuya molécula está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. El término generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido (puede hallarse en su forma sólida y gaseosa). El agua de mezclado debe cumplir con lo estipulado en la Norma N-CMT-2-02-003, Calidad del Agua para Concreto Hidráulico (SCT, 2002).

Se utiliza para generar las reacciones químicas en los cementantes del concreto hidráulico o del mortero de cemento Pórtland. Puede ser agua potable, es decir, aquella que por sus características químicas y físicas es útil para el consumo humano o que cumpla con los requisitos de calidad establecidos en mencionada norma. (SCT, 2002).

Arena de Rio

Árido procedente de ríos, de menor contenido en finos y un alto equivalente de arena. Concentra una mayor cantidad de cuarzo y piedras de gran dureza, con partículas de tamaño comprendidas entre 75 micrómetros y 4.75 milímetros (SCT, 2002).

2.6 Método de evaluación o análisis

Cuando se trabaja con diseños experimentales de materiales los cuales se esperan den cumplimiento a una norma en específico (la cual será nuestro instrumento de medición), es necesario utilizar los métodos y pruebas establecidas en dicha norma y comparar los resultados con los esperados en los rangos mínimos de esta última.

En este apartado se resumen: el instrumento con el que se analizan los efectos del reemplazo de RCD derivado de loseta cerámica en elaboración de tabiques de concreto para uso estructural y la evaluación a partir de nuestras variables independientes señaladas en el apartado 2.6 y 3.1 que dan como resultado otras variables dependientes.

Se propone el reemplazo de RCD derivado de loseta cerámica en distintos porcentajes y la $r=a/c$ comparado con la utilización de materiales pétreos naturales en la elaboración de morteros para elaborar tabiques (prefabricados) y utilizar para ello los parámetros de las normas mexicanas (métodos y pruebas) y las comparativas de otras normas internacionales.

Adicionalmente, también se presenta la evaluación de este material en lo referente a su conductividad térmica, con la finalidad de conocer sus propiedades térmicas, derivado de las condiciones climáticas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez las cuales se mantienen con temperaturas altas casi todo el año (Morillón, 2004).

- **Reemplazo de RCD derivado de loseta cerámica**

Para evaluar los resultados del reemplazo nos delimitaremos al contraste de resultados con los parámetros de la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012 *Industria de la Construcción - Mampostería - Bloques, Tabiques o ladrillos y Tabicones para uso Estructural - Especificaciones y Métodos de Ensayo*, y en las siguientes normas derivadas de la misma para:

Resistencia a la Compresión

NMX-C-036-ONNCCE-2004 Industria de la Construcción - Bloques, Tabiques o ladrillos, Tabicones y Adoquines – Resistencia a la Compresión – Método de Prueba.

Absorción de agua

NMX-C037-ONNCCE-2005 Industria de la Construcción - Bloques, Ladrillos o Tabiques y Tabicones – Determinación de la absorción de agua y absorción inicial de agua.

En comparativa también se contrastarán los resultados de los dos puntos anteriores con las normas internacionales de las cuales deriva la norma mexicana:

ASTM C55 Standard Specification for Concrete Building Brick
(Especificación estándar para ladrillos de construcción de concreto)

ASTM C90 Standard Specification for Loadbearing Concrete Masonry Units
(Especificación estándar para unidades de mampostería de hormigón de carga)

Dimensiones

NMX-C038-ONNCCE-2004 Industria de la Construcción - Determinación de las dimensiones de Ladrillos, Tabiques, Bloques y Tabicones para la construcción.

Se excluyen de la norma señalada (NMX-C-404-ONNCCE-2012) la siguiente:

PROY-NMX-C-024-ONNCCE-2012 Determinación de la contracción por secado de Bloques, Tabiques o ladrillos y Tabicones
Método de Ensayo.

Lo anterior deriva de las limitantes referentes a la falta de equipo de medición y por consiguiente a la preparación y acondicionamiento de las muestras.

De manera adicional se evaluará la Conductividad térmica del tabique de concreto para uso estructural elaborado con RCD. Para evaluar también los resultados del

reemplazo de RCD compararemos estos con el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación (CTE) en su apartado de Hormigones; siguiendo el método de determinación de la norma ASTM C 177 (guarded-hot-plate). Con el fin de conocer si el material cumple con los lineamientos de normas de eficiencia energética en edificaciones.

Para más detalles, equipo utilizado y pasos a seguir ver el apartado de Apéndice en Conductividad Térmica (Métodos de Ensayo, Pruebas y Determinaciones) .

2.7 Objeto de Estudio

El objeto de estudio son los Efectos físico - mecánicos de los diferentes proporcionamientos de RCD derivado de loseta cerámica (reemplazando agregados finos) en morteros y tabiques según la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 y adicionalmente la ASTM C 177.

Capítulo 3. MATERIALES Y MÉTODOS

En relación al tema presentado se revisan documentos que contengan similares variables con el fin de establecer una metodología consistente con las mismas. La siguiente tabla da ejemplo de 3 autores que también se localizan en el Estado de Arte y determinan la metodología siguiente:

Tabla 3. 1 Resumen de Metodologías utilizadas en temas relacionados al RCD Diseños de Experimentos basada en información de 3 autores para la selección de la metodología a utilizar. Fuente: Elaborada por el autor con Información de investigaciones de autores señalados.

N°	AUTOR	INVESTIGACIÓN	TIPO DE DOCUMENTO	DISEÑO DE EXPERIMENTO
01	(Rangel Martínez, 2012)	Procesos unitarios de recuperación de residuos de construcción, demolición y jales de la minería: desarrollo de agregados pétreos	Tesis Doctoral	Metodología Experimental, dividida en cinco etapas o fases para el desarrollo del proyecto, las cuales son: <ul style="list-style-type: none"> • Ubicación • Caracterización físico-mecánica de RCD. • Experimentación • Realizar un análisis
02	(López-Calvo, Montes-García, Thomas, & Bremner, 2012)	Efectividad de CNI en losas con una junta de construcción en ambiente marino	Artículo científico - Revista de investigación del concreto	Metodología Experimental - Diseño factorial 3 ³ : <ul style="list-style-type: none"> • Diseño del experimento y materiales, variables y niveles investigados • Proporciones de mezcla y preparación de muestra • Condiciones de exposición y pruebas electroquímicas • Perfiles
03	(Cabral, Schalch, Dal Molin, Ribeiro, & Rasiah Sri Ravindrarajah, 2009)	Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha	Artículo científico	Proyecto de experimentos factoriales 2k

3.1 Diseño de experimento

En correspondencia a lo anterior y para viabilizar la ejecución del experimento y obtener un grado alto de confiabilidad en los resultados el proyecto se realizará en dos etapas, estas son independientes de las pruebas piloto para trabajar las proporciones de cemento arena que optimicen cumplir con la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 *Industria de la Construcción - Mampostería - Bloques, Tabiques O ladrillos y Tabicones para uso Estructural - Especificaciones y Métodos de Ensayo*. A continuación, se presenta el esquema de la metodología a seguir basada en el resumen presentado (Ver Figura 3.1)

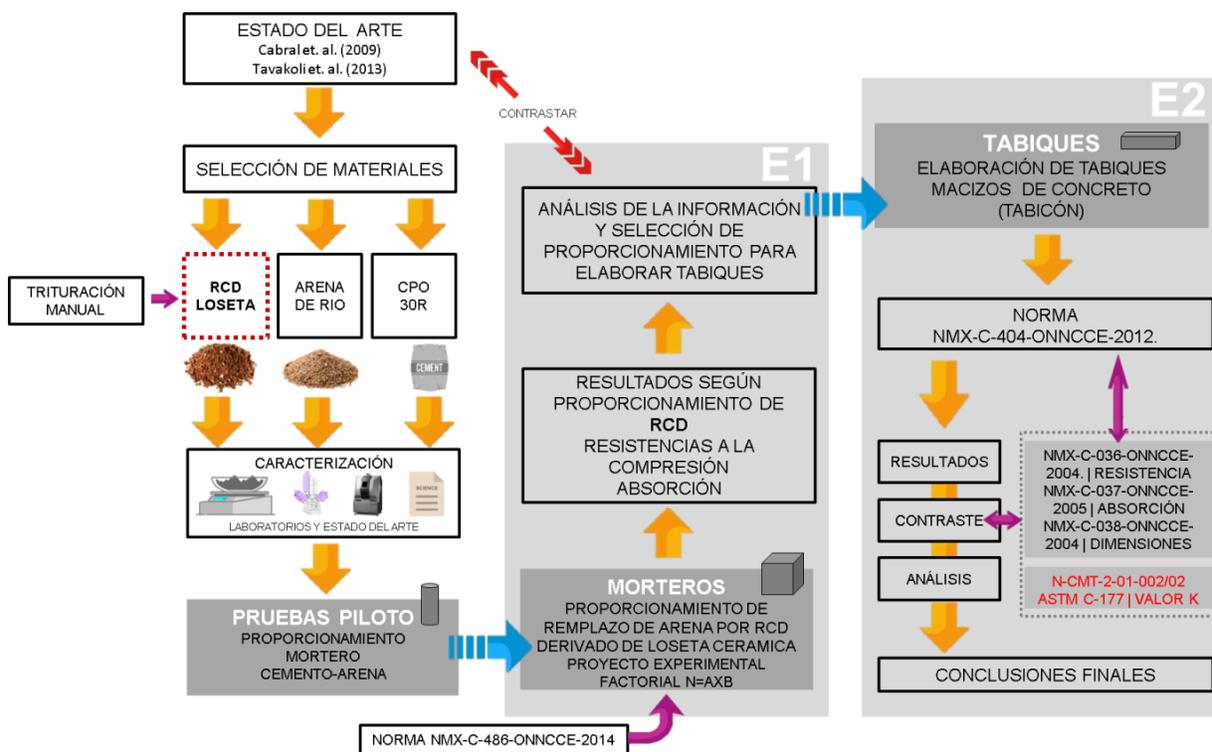


Figura 3. 1 Esquema metodológico Fuente: Elaborada por el autor

En la primera etapa (E1) y para la elaboración del proyecto experimental se identifican dos variables independientes o controladas: el agregado derivado de loseta cerámica y la relación agua / cemento. Así mismo se identifican dos variables dependientes o no controladas, siendo estas: la resistencia a la compresión y el % de absorción. Por medio del proyecto experimental factorial $N=AXB$ se evalúa el efecto de los 2 factores independientes sobre las variables dependientes o de respuesta (Duarte Ribeiro & Schwengber ten Ca, 2011). Para este experimento se realizarán 3 réplicas por cada interacción de variables obteniendo un total de 24 resultados en cubos de 5x5 cm como lo señala la Norma NMX-C-486-ONNCCE-2014.

Tabla 3. 2 Tabla de mezclas de mortero para elaboración de cubos de 5x5 cm definido por proyecto experimental. Fuente: Elaborada por el autor.

N°	% de RCD derivado de loseta cerámica (sustitución)	% de arena	Relación a/c	Granulometría de los agregados (arena y RCD)	Tamaño de los agregados
T1	0%	100%	0.5		
T2			0.6		
M1a	10%	90%	0.5	Del N° 4 al N° 100	Del 4.75 mm al 0.15 mm
M1b			0.6		
M3a	33.33%	66.67%	0.5		
M3b			0.6		
M6a	66.66%	33.34%	0.5		
M6b			0.6		

Las pruebas piloto elaboradas en volúmenes cilíndricos establecerán las proporciones de la mezcla testigo con 0% de sustitución de RCD (ver Apéndice – pruebas piloto). Los porcentajes de sustitución de RCD derivado de loseta cerámica se establecen en rangos amplios de 10% (bajo), 33.33% (intermedio) y 66.66% (alto) para posteriormente establecer rangos específicos; resistencia a la compresión a los 7 días.

Como variables de respuesta, es decir, variables dependientes o no controladas se obtienen la resistencia a la compresión de los morteros elaborados y de los tabiques de concreto según la Norma NMX-C-036-ONNCCE-2004 y el porcentaje de absorción según lo señalado en la Norma NMX-C037-ONNCCE-2005. Aun cuando son dos las variables dependientes, la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 establece ciertos factores a verificar para que los tabiques de concreto estén en cumplimiento de esta como la geometría y la disgregación.

La segunda etapa (E2) del proyecto experimental se basará en la información obtenida en la primera etapa; se establecen rangos intermedios o límites a partir de los porcentajes de sustitución que cumplan con la norma en los apartados de resistencia a la compresión y % de absorción (variables dependientes). En caso de ser óptimo el rango 66.66% se trabajará con el máximo extremo de 100%; todos ellos a edades de 7 y 28 días para la resistencia a la compresión (y % de absorción), siendo estas variables determinadas como delimitantes.

Para que la relación agua cemento no se viera afectada por el RCD que sustituye al material pétreo, este se RCD se satura de agua para evitar la absorción de la $r=a/c$.

3.2 Preparación del RCD derivado de loseta cerámica



Figura 3. 2 Esquema de preparación del RCD derivado de loseta cerámica Fuente: Elaborada por el autor.

El residuo de construcción y demolición (RCD) que se seleccionó y se utilizará es la loseta cerámica, procedente de construcciones (ampliaciones de viviendas y de empresas de ventas de materiales) donde el residuo no está contaminado ya que son restos de cortes. También se utilizan los residuos procedentes de obras en demolición, de este último el residuo se selecciona previamente, se separan las losetas cerámicas que no tiene adhesivo base cemento (Ver Figura 3.2). De este modo el material solo tendrá polvos de adhesivos como contaminante en las losetas o en los fragmentos de ellas como se observa en la Figura 3.3.

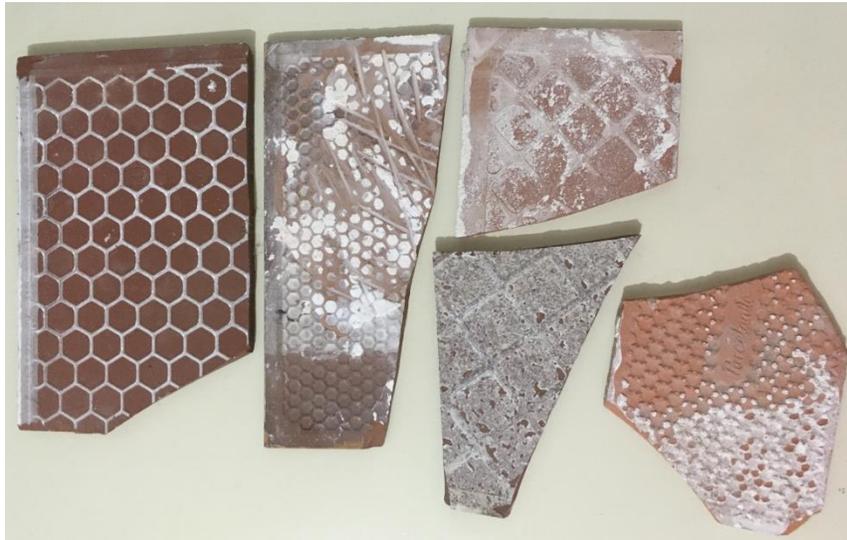


Figura 3. 3 Losetas seleccionadas en preparación de RCD Fuente: Tomada por el autor.

Para preparar el RCD se realizaron un par de procesos, realizados en el sitio de obtención de materiales y en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas. Después de la selección de losetas cerámicas, estas se trituran de manera manual con marro de 2 libras, siendo el material resultante tamizado en el tamiz de malla 4.75 mm (Ver Figura 3.4), donde la fracción retenida fue descartada y el pasante fue re-tamizado, separando posteriormente los agregados. Tamiz No. 4 marca ELVEC de 4750 micrones o 0.187 pulgadas en Laboratorio o criba manual pequeña en sitio de trituración.



Figura 3. 4 Material tamizado en la malla 4.75 mm

3.3 Caracterización del RCD derivado de loseta cerámica

Para la ejecución de las pruebas piloto y elaboración de morteros se utilizó cemento Tipo II Ordinario CPO 30R RS (ver Tabla 3.3 para su composición general), agregado fino (arena colada) proveniente del dragado de lecho de río Santo Domingo banco El Manguito en Ribera América Libre en Chiapa de Corzo, mientras que los agregados reciclados RCD derivados de loseta cerámica son provenientes de construcciones aleatorias en remodelación y en construcción principalmente.

Tabla 3. 3 Análisis químico del Cemento Portland según varios autores Fuente: Elaborada por el autor

Análisis Químico del Cemento Portland				
Autores	(López-Calvo, Montes-García, Thomas, & Bremner, 2012)	(López Calvo, Montes García, Alonso Guzmán, Martínez Molina, Bremner, & Thomas, 2017)	(Arenas-Piedrahita, Montes-García, Mendoza-Rangel, López Calvo, Valdez-Tamez, & Martínez-Reyes, 2016)	(Cabral, Schalch, Dal Molin, Ribeiro, & Rasiah Sri Ravindrarajah, 2009)
Chemical composition	8% SF PC	Portland cement 8% SF	Ordinary Portland cement	CP V
Silica (SiO ₂)	26.70%	25.20%	16.70%	18.55%
Alumina (Al ₂ O ₃)	4.00%	4.00%	3.97%	4.40%
Iron oxide (Fe ₂ O ₃)	2.90%	2.90%	2.46%	2.66%
Calcium oxide, total (TCaO)	59.60%	57.00%	66.40%	60.11%
Magnesium oxide (MgO)	0.90%	2.50%	1.16%	4.85%
Sulphur trioxide (SO ₃)	2.70%	3.60%	5.46%	3.10%
Loss of ignition	1.70%	2.50%	-	-
Calcium oxide, free (FCaO)	1.50%	1.50%	-	1.31%
Equivalent Alkali (as Na ₂ O)	0.46%	0.80%	0.86%	-
Carbon, %	-	-	-	-

Tabla 3. 4 Materiales pétreos, RCD y cemento para pruebas piloto y diseño de mezclas. Fuente: Elaborada por el autor

N°	Material	Nombre del Banco	Ubicación
1	Cemento Portland	N/A	N/A
2	Arena de río	El Manguito	Ribera América Libre en Chiapa de Corzo
3	Arena RCD (LOSETA)	Residuos	Varias obras de construcción y demolición en Tuxtla, Gtz.



Figura 3. 5 Agregados finos de Río (izquierda) y de RCD (derecha) Fuente: Tomada por el autor

Granulometría, Densidad y Absorción

Para las pruebas de granulometría se utilizó el Agitador de Tamices Motorizado, HP ¼ marca ELVEC. Se excluye la granulometría N° 200 y polvos al considerarse material fino que pasa la criba 0.075 mm (Ver Figura 3.6) y son potencialmente reactivos con los álcalis del cemento y materiales intemperizados como lo señala la norma NMX-C-111-ONNCCE-2014 (agregados para concreto hidráulico-especificaciones y métodos de prueba) y se evidencia en su composición química más adelante. Para los agregados utilizados, se determinaron la absorción de agua, el peso específico seco suelto y compacto, de acuerdo con las respectivas normas de ensayo. No se utilizó aditivos.

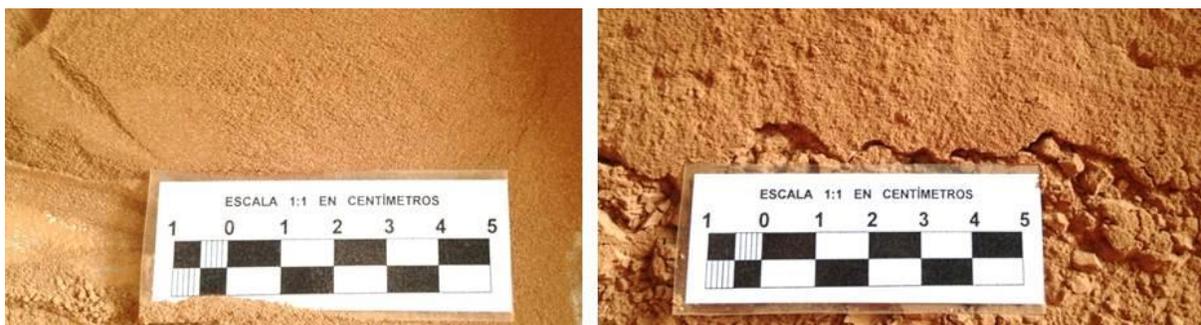


Figura 3. 6 Granulometría N° 200 y polvos excluida Fuente: Tomada por el autor

Es necesario que los tamaños de los agregados no sean alargados ni afilados, toda vez que los agregados laminares y aciculares producen concretos de peor calidad donde esas formas repercuten negativamente en las resistencias y en la durabilidad (Skalny & Mindess, 1998).

Las piezas a elaborar se determinan de producción artesanal, motivado principalmente para ser trabajado en poblaciones lejanas y de difícil acceso, así también por ser común que en el Estado de Chiapas la elaboración de prefabricados de mampostería de concreto no sea en plantas mecanizadas, ya que las empresas que producen las piezas empleadas (tabiques, bloques, tabicones), generalmente son artesanales en la construcción de la vivienda como lo señala (González & Aguilar, 2004)

De los agregados: arena colada de la malla N° 4 como máximo y mínimo de la malla N° 100, peso volumétrico seco suelto (P.V.S.S.) de 1,479.17 Kg/m³, peso volumétrico seco compacto (P.V.S.C.) de 1,625 Kg/m³, con una densidad de 2,506.3 kg/m³ y absorción de 0.6% con un módulo de finura de 2.40 (Ver Tabla 3.5 y Figura 3.7). El RCD derivado de loseta cerámica como agregado fino triturado manualmente de la malla N° 4 a la malla N° 100, peso volumétrico seco suelto (P.V.S.S.) de 1,000 Kg/m³, peso volumétrico seco compacto (P.V.S.C.) de 1,154.17 Kg/m³, con una densidad de 2,130 kg/m³, absorción de 7.97% y un módulo de finura de 3.82 (Ver Tabla 3.6 y Figura 3.8).

Tabla 3. 5 Resultados de agregado fino (arena) para aglomerado de concreto Fuente: Elaboración propia con la colaboración del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura Campus I

AGREGADO FINO	
NOMBRE DEL BANCO	El Manguito Ribera América Libre. Chiapa de Corzo
MUNICIPIO	Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
FECHA DE EXTRACCIÓN	06 de septiembre de 2018
TIPO DE AGREGADO	Fino – arena colada
IMAGEN	
COLOR	Beige
P.V.S.S. (KG/M³)	1,479.17
P.V.S.C. (KG/M³)	1,625.00
% DE ABSORCIÓN	0.6 %
DENSIDAD	2.50 g/ml
GRANULOMETRÍA (#)	
N° 4	1 %
N° 8	6 %
N° 16	5 %
N° 30	20 %
N° 50	58 %
N° 100	8 %
N° 200	1 %
TAMAÑO MÁXIMO	4.75 mm

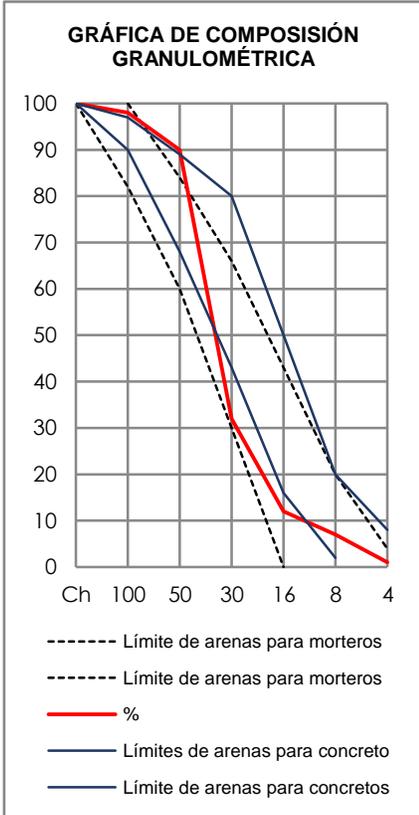


Figura 3. 7 Trabajos de laboratorio – Granulometría de agregado fino-colado Fuente: Autor.

Tabla 3. 6 Resultados de agregado fino (RCD) para aglomerado de concreto Fuente: Elaboración propia con la colaboración del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura Campus I

AGREGADO FINO RCD	
NOMBRE DEL BANCO	N/A
MUNICIPIO	Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
FECHA DE EXTRACCIÓN	18 de abril de 2018
TIPO DE AGREGADO	Fino – RCD (derivado de loseta cerámica)
IMAGEN	
COLOR	Marrón
P.V.S.S. (KG/M³)	1,000.00
P.V.S.C. (KG/M³)	1,154.17
% DE ABSORCIÓN	7.97 %
DENSIDAD	2.13 g/ml
GRANULOMETRÍA (#)	
N° 4	5 %
N° 8	39 %
N° 16	26 %
N° 30	11 %
N° 50	8 %
N° 100	4 %
N° 200	3 %
TAMAÑO MÁXIMO	4.75 mm

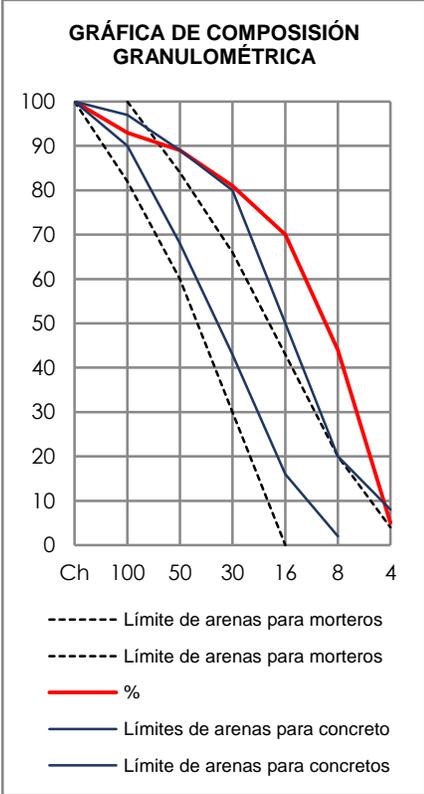


Figura 3. 8 Trabajos de laboratorio – Granulometría de agregado fino (RCD) Fuente: Autor.

A continuación, se presenta la comparativa gráfica de los agregados finos que se utilizaron en las pruebas piloto y ensayos, desde el agregado máximo de la malla n° 4 hasta la n° 200 y la de polvos. En la parte superior se muestra a la arena de río colada y en la parte inferior al RCD derivad de loseta cerámica (Fig. 3.9).



Figura 3. 9 Comparativa de los agregados finos (arena de río en la parte superior versus reciclados de RCD derivados de loseta cerámica en la parte inferior). Fuente: Elaborada por el autor.

El material RCD presente a simple vista diferencias físicas con la arena en su forma principalmente, siendo el primero de morfología más afilada conforme es mayor su tamaño y las superficies esmaltadas tienen mayor superficie de contacto.

Tabla 3. 7 Características de los agregados (arena colada de río y RCD derivado de loseta cerámica).
 Fuente: Elaborada por el autor.

N°	Agregado	P.V.S.S. (KG/M ³)	P.V.S.C. (KG/M ³)	% DE ABSORCIÓN	DENSIDAD (KG/M ³)	GRÁFICA GRANULOMÉTRICA
01	Arena colada	1,479.17	1,625.00	0.60	2.50	<p> Ch 100 50 30 16 8 4 - - - - Límite de arenas para morteros — % arena — Límites de arenas para concreto — % RCD </p>
02	Arena RCD derivado de loseta cerámica	1,000.00	1,154.17	7.97	2.13	

Conforme a la información presentada en la Tabla 3.7, los agregados finos reciclados de RCD derivados de loseta cerámica demostraron una mayor absorción de agua y menor peso volumétrico seco suelto y compacto que la arena colada de río. Basado en lo anterior, se puede inferir que los agregados reciclados de RCD derivados de loseta cerámica son más porosos que los agregados naturales (arena).

Adicionalmente se caracteriza la muestra con Microestructura, Composición química del RCD derivado de loseta cerámica y su Conductividad térmica (Ver Apéndice).

3.4 Diseño de mezclas

Elaboración de morteros

Después de la realización de las pruebas de caracterización de los agregados naturales y de RCD, se inicia la producción de morteros definidos en el proyecto experimental con la elaboración de los cubos de 50X50 mm para la ejecución de los ensayos. Para el primer paso de esta etapa las pruebas piloto fueron fundamentales en la elección de la proporción adecuada con la cual trabajar los reemplazos y que presentara resultados congruentes con lo solicitado en la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014. De esta norma se presentan las siguientes Tablas 3.8 y 3.9 que señalan el tipo de mortero según su uso y el proporcionamiento recomendado por tipo de mortero. Selección de mortero para elementos estructurales Tipo I.

Tabla 3. 8 Guía para la selección del tipo de mortero (A.1.) Norma NMX-C-486-ONNCCE-2014 Fuente: ONNCCE, S.C., 2014

Ubicación	Tipo de elemento	Tipo de mortero	Notas
Exteriores	Muro estructural para pega de piezas relleno de celdas reforzadas	I, II	Según diseño estructural Puede usarse aditivo fluidificante
	Muro no estructural	II, III	
	Barda	II, III	
	Pretiles o parapetos	III	
	Bardas de celosía	II, III	
Interiores	Muro estructural	I, II	Según diseño estructural
	Muros no estructurales (divisorios)	II, III	

Tabla 3. 9 Proporcionamiento en volumen recomendado para mortero de uso estructural (A.2.) Norma NMX-C-486-ONNCCE-2014 Fuente: ONNCCE, S.C., 2014

Tipo de mortero	Partes de cemento hidráulico	Partes de cemento albañilería	Partes de cal hidratada	Partes de arena
I	1	—	0 a ¼	No menos de 2,25 ni más de 3 veces la suma de cementantes en volumen
	1	0 a ½	—	
II	1	—	¼ a ½	
	1	½ a 1	—	
III	1	—	½ a 1¼	
	1	—	1 ½ a 2	
IV	1	—	—	
	—	1	—	

3.5 Elaboración de las muestras

Morteros

En la elaboración de las muestras de mortero, que ya poseen sustitución de los agregados naturales por los reciclados RCD derivado de loseta cerámica, algunos ajustes fueron necesarios al pasar de las pruebas piloto (volúmenes cilíndricos) a los moldes cúbicos de 50x50 mm, sobre todo en el apartado de disgregación; ya que los primeros al no presentar tantos bordes y esquinas difería esta propiedad.

Finalmente, las muestras se retiran de sus moldes para ser curadas al ser sumergidas en agua durante 24 horas. Para los resultados fuera de rango se llevarán a cabo las muestras nuevamente. Se elaboraron 48 muestras de mortero, conforme al proyecto experimental, en forma de cuerpos cúbicos de 50x50 mm. por 50 mm. altura en base a la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014.



Figura 3. 10 Muestras curadas sumergidas en agua y marcadas para sus posteriores pruebas y mediciones. Fuente: Tomada por el autor.

Tabiques

Apegados a la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 se elaboran tabiques de 6x10x26 cm con apoyo de un molde de madera, se desmolda y se cura en agua durante 7 días. Fue necesario la utilización de la proporción en partes 1:2,25 de materiales cemento – RCD derivado de loseta cerámica por las cantidades que se tenían como agregado fino con una relación a/c de 0.5 (Pierre-Claude & Neville, 2003). Previamente el RCD se encontraba saturado de agua, evitando que el mismo absorba agua del material cementante.



Figura 3. 11 Muestras curadas de tabiques sumergidas en agua y marcadas para sus posteriores pruebas y mediciones. Fuente: Tomada por el autor.

3.6 Métodos de Ensayo, Pruebas y determinaciones.

Se ejecutaron los siguientes Métodos de Ensayo, Pruebas y determinaciones a los especímenes elaborados, como parte del desarrollo del experimento.

Resistencia a la compresión

La prueba de resistencia a la compresión se llevó a cabo conforme a la Norma NMX-C-036-ONNCCE-2004, sobre la resistencia a la compresión de cubos y tabiques de concreto cemento – arena – RCD en diferentes proporciones. Se utilizó un equipo con las siguientes características (ver la Figura 3.12):

- Prensa eléctrica digital con marco para flexión, alcance de medición 120,000 y 10,000 kgf, bomba con válvula regulable de aplicación de carga; manómetro ADR, resolución desde 1 kgf, unidades de medición lbf, kN y kgf, salida para conexión a PC RS232, memoria interna para 400 ensayos, configuración del tipo de muestra, indica la velocidad de aplicación y retención de carga máxima, determina la resistencia, dos canales.
- Marca ELVEC, modelo E 668-2 120 t compresión, 10 t flexión (ASTM C39; AASHTO T22) y serial 070824.
- Muestras en cubo de 50x50x50 milímetros y tabiques de concreto de 60x100x240 mm.



Figura 3. 12 Equipo ELVEC, ejecución de la prueba y esquema de la prueba de compresión simple. Fuente: Tomadas por el autor y esquema basado en la representación esquemática de los principales ensayos mecánicos clásicos de Guede, González, & Caeiro, 2013.

Absorción

La prueba de absorción de agua y absorción inicial de agua se llevó a cabo conforme a la Norma NMX-C-037-ONNCCE-2005, sobre tabiques de concreto estructural de cemento – arena y cemento – arena – RCD en diferentes proporciones.

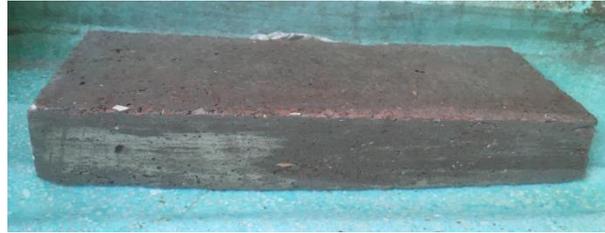


Figura 3. 13 Pruebas de absorción conforme norma NMX-C-037-ONNCCE-2005

Dimensiones

La determinación de las dimensiones de los tabiques de concreto estructural se llevó a cabo conforme a la Norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 y NMX-C-038-ONNCCE-2004, elementos de cemento – arena y cemento – arena – RCD en diferentes proporciones. Se hacen las mediciones con Vernier marca TRUPER de 15 cm para cubos de 50x50 mm. y tabiques de 60x 100x 240 mm.



Figura 3. 14 Vernier marca TRUPER de 15 cm

Capítulo 4. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se exponen los resultados e información obtenida en los distintos ensayos realizadas a las muestras descritas en el capítulo anterior. Los resultados son presentados por tipo de prueba realizada y analizados según la información.

4.1 Resultados, información y datos generados

Resistencia a la compresión

Morteros

Tabla 4. 1 Resistencia media a la compresión (Kg/cm²) a los 7 días de los ensayos con reemplazo de agregados finos por RCD derivado de loseta cerámica (y % de absorción). Fuente: Elaborada por el autor.

N° de Mezcla	% de Reemplazo	Resultados de la media	Relación a/c	
			0.5	0.6
T1	0%	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	52.57	108.68
		% de absorción	18.12	5.50
M1	10%	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	36.52	86.95
		% de absorción	16.48	10.35
M3	33.33%	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	125.11	98.16
		% de absorción	11.24	9.41
M6	66.66%	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	84.34	126.33
		% de absorción	14.59	8.54

En la Fig. 4.1 se muestra el diagrama de las resistencias a la compresión de morteros en relación al reemplazo de agregados finos por RCD y relación a/c, resultado de la producción de los 30 especímenes de mortero determinados por el proyecto experimental (Tabla 4.1). El diagrama se produjo utilizando la proporción cemento – arena 1:3 (mortero estructural Tipo I), con la finalidad de determinar el porcentaje de reemplazo de agregados (RCD por arenas) a realizar, que fue del 100%, para una relación agua / cemento de 0.60, este no se disgrega y con una absorción por debajo del límite máximo permitido. A partir de estos resultados se elaboraron 6 especímenes más de prueba con sustitución RCD derivado de loseta cerámica del 100% para ensayarlos a los 28 días de edad variando nuevamente la relación agua / cemento en 0.50 y 0.60 (Pierre-Claude & Neville, 2003) (Tabla 4.2). De esta manera el diagrama muestra las curvas de resistencia a la compresión versus porcentaje de sustitución de agregados finos, en dos variables de relación agua / cemento.

Tabla 4. 2 Resistencia media a la compresión (Kg/cm²) a los 7 días de los ensayos con reemplazo de agregados finos por RCD derivado de loseta cerámica (y % de absorción). Fuente: Elaborada por el autor.

N° de Mezcla	% de Reemplazo	Resultados de la media	Relación a/c	
			0.5	0.6
M0	100%	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	116.55	205.62
		% de absorción	8.79	7.81

Se señala que, como evaluación parcial, la sustitución de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) derivados de losetas cerámicas, como agregado fino en la elaboración de mortero para tabiques de concreto para uso estructural es viable, en espera de las pruebas sobre el molde que cumpla con las especificaciones de la norma, al igual que las pruebas piloto, los ensayos de 50x50 mm cumplen con la resistencia a la compresión, la absorción requerida y la no disgregación al tacto o al sumergirse en agua.

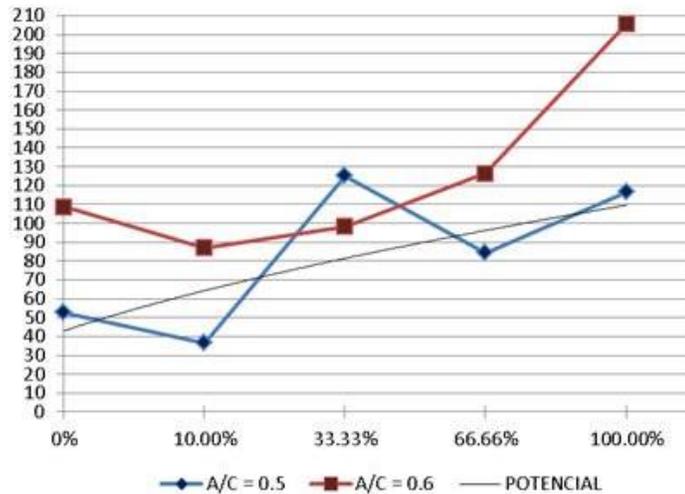


Figura 4. 1 Diagrama de la resistencia a la compresión de morteros en relación a la sustitución de agregados finos por RCD y relación a/c en Kg/cm2 a 7 días. Fuente: Elaborada por el autor.

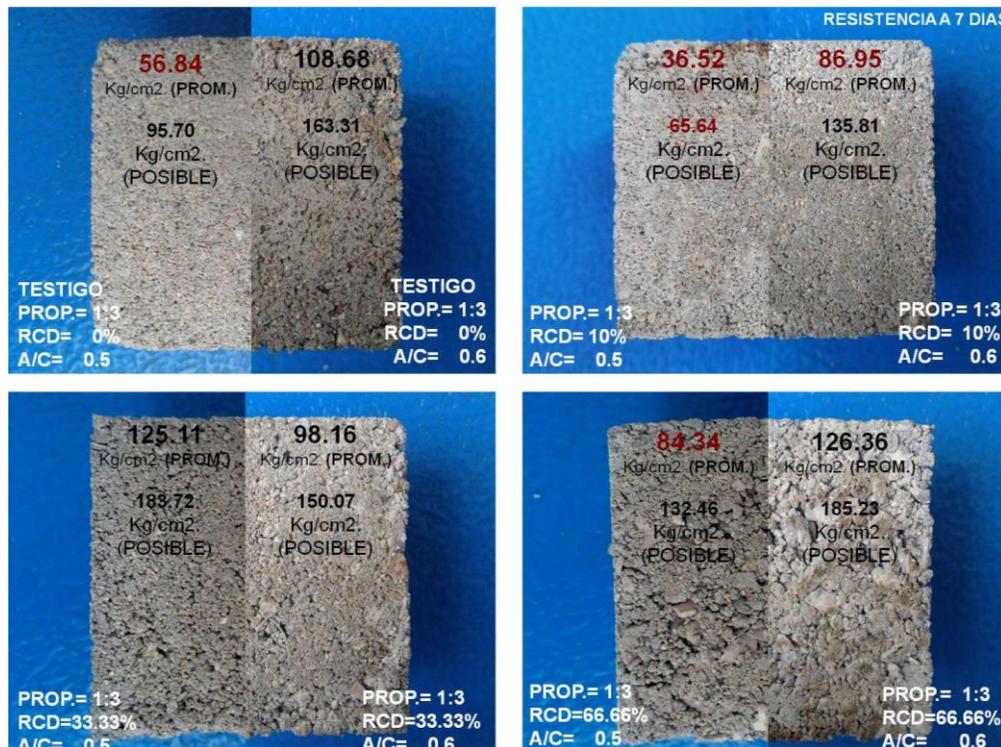


Figura 4. 2 Ensayos con sustitución de agregados en sus distintas variables independientes. Fuente: Elaborada por el autor.

Dentro de los resultados físicos visibles se presenta la Figura 4.3 donde se señalan las diferencias de los ensayos conforme a la $r=a/c$ y sus variables. En estos ensayos aquellos morteros con menor $r=a/c$ se muestran menos densos, mientras que aquellos con mayor $r=a/c$ se compactaron más. Actuando el agregado fino como un relleno de espacios junto al material cementante que cubre cada cara del agregado de RCD derivado de loseta cerámica. De esta manera la resistencia fue mayor en aquellos morteros más densos.

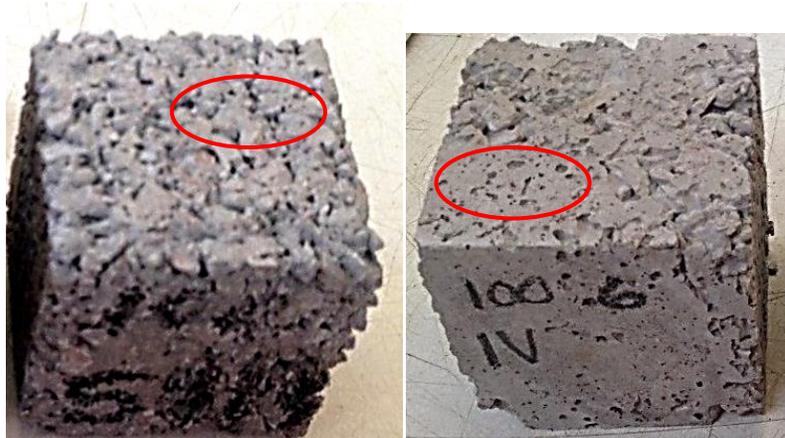


Figura 4. 3 Diferencias entre morteros con $r=a/c$ de 0.5 (izquierda) y 0.6 (derecha). Fuente: Autor.

La Figura 4.4 muestra para los mismos ensayos, que no existe adherencia del agregado RCD derivado de loseta cerámica cuando tiene una cara esmaltada. Y demuestra también la fragilidad de los agregados.

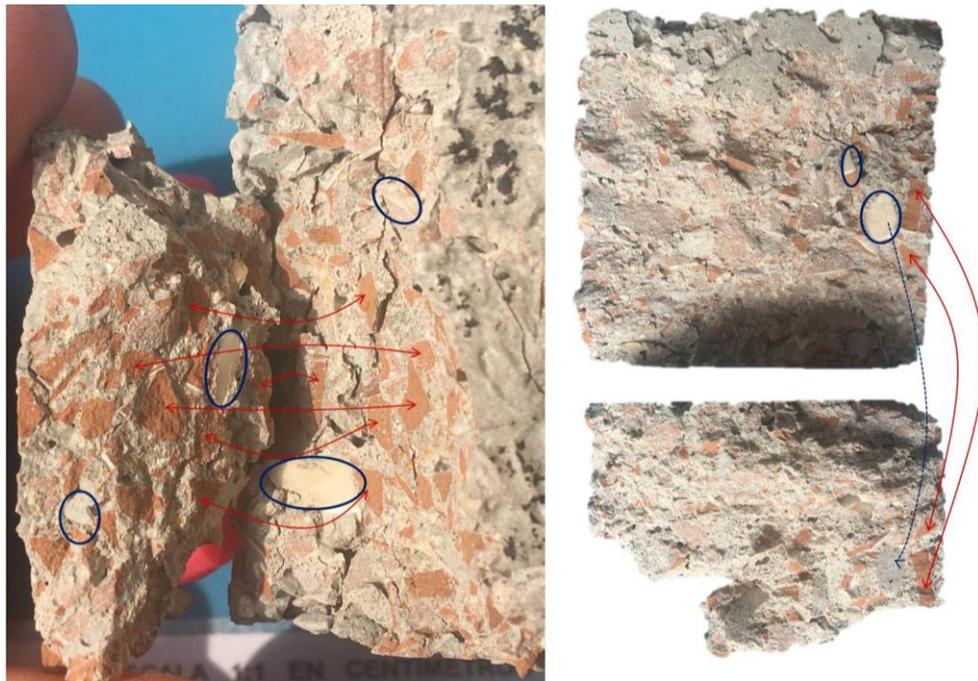


Figura 4. 4 Adherencias nula (azul) o fragilidad del agregado (rojo) RCD derivado de loseta cerámica en morteros con 100% de reemplazo de finos. Fuente: Autor.

Tabiques

La resistencia a la compresión de los tabiques seleccionados con reemplazo de 100% de agregado fino por RCD derivado de loseta cerámica presentaron los siguientes resultados (Tabla 4.3):

Tabla 4. 3 Resistencia a la compresión (Kg/cm²) de tabique con reemplazo del 100% de agregados finos por RCD derivado de loseta cerámica comparado con normativas nacionales e internacionales. Fuente: Elaborada por el autor.

N° de Mezcla	% de Reemplazo	r=a/c	Resultados de TABIQUES con 100% de RCD		
			MPa	Kg/cm ²	psi
01 (A)			NO APLICA (SE CORTO PARA OTRAS PRUEBAS)		
02 (B)			28	283.76	4036.02
03 (C)			27	273.98	3896.91
04 (D)	100%	0.5	32	235.50	4629.70
05 (E)			NO APLICA (SE CORTO PARA OTRAS PRUEBAS)		
06 (F)			31	313.22	4455.04
07 (G)			20	204.92	2914.65
PROM.			27	280.28	3986.52

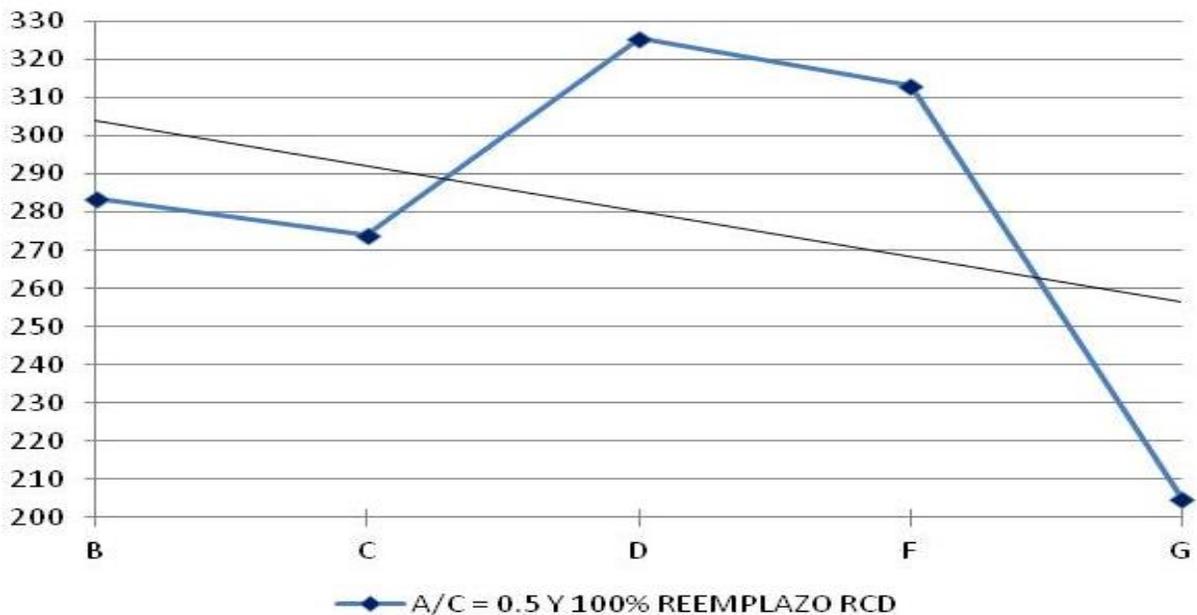


Figura 4. 5 Gráfica de la resistencia a la compresión en kg/mc2 de los tabiques elaborados con reemplazo de finos por RCD derivado de loseta cerámica en 100%. Fuente: Autor.



Figura 4. 6 Pruebas de compresión a Tabiques elaborados con RCD derivado de loseta cerámica. Fuente: Autor.

Al igual que en los ensayos de 50x50 mm, los tabiques muestran las rupturas del agregado junto con el material cementante. De la misma manera, las superficies de falla se localizan donde el agregado permanece con áreas aun recubiertas de esmalte, éstas no presentan adherencia.

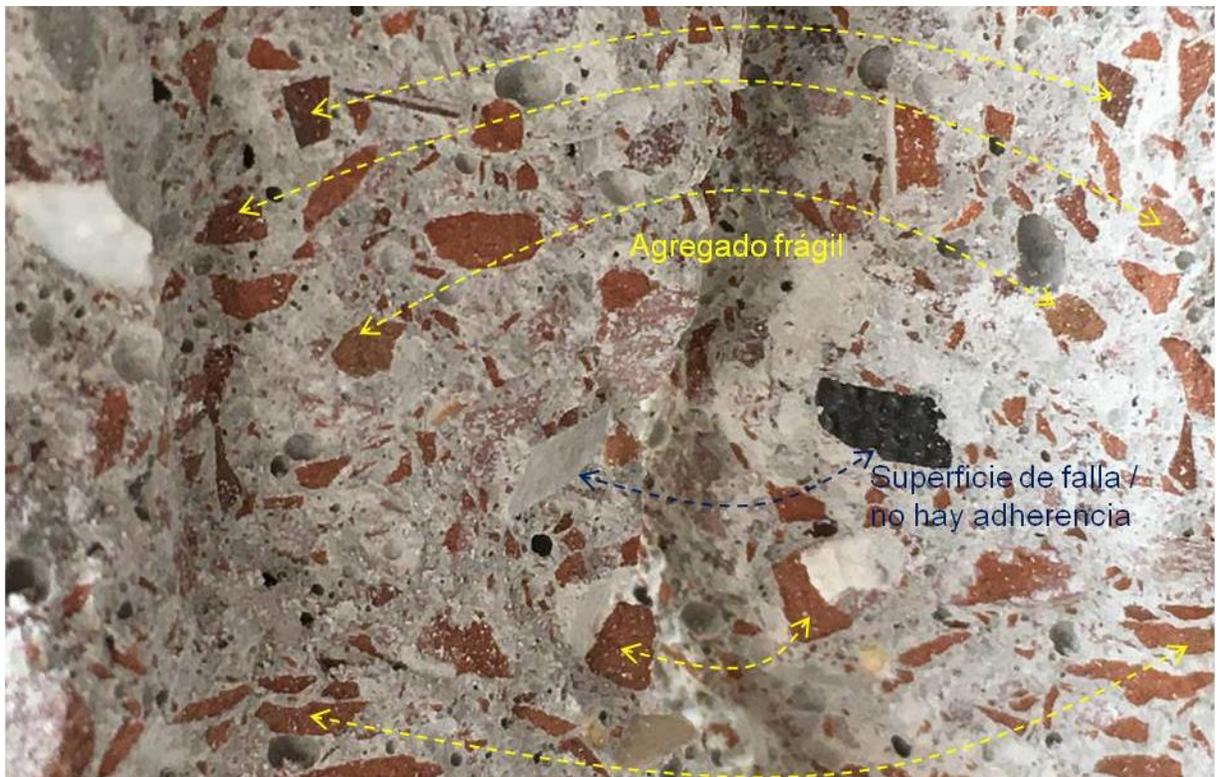


Figura 4. 7 Vista de las rupturas de los tabiques donde se muestran las superficies de falla y las rupturas del agregado junto al material cementante. Fuente: Autor.

Absorción

Los resultados de los porcentajes de absorción de agua en 24 horas para los morteros con reemplazos varios de RCD derivado de loseta cerámica en proporcionamiento de cemento – arena (y arena de RCD) de 1:3 y de los tabiques con reemplazo del 100% proporcionamiento 1:2,25 se describen en las siguientes Figuras.

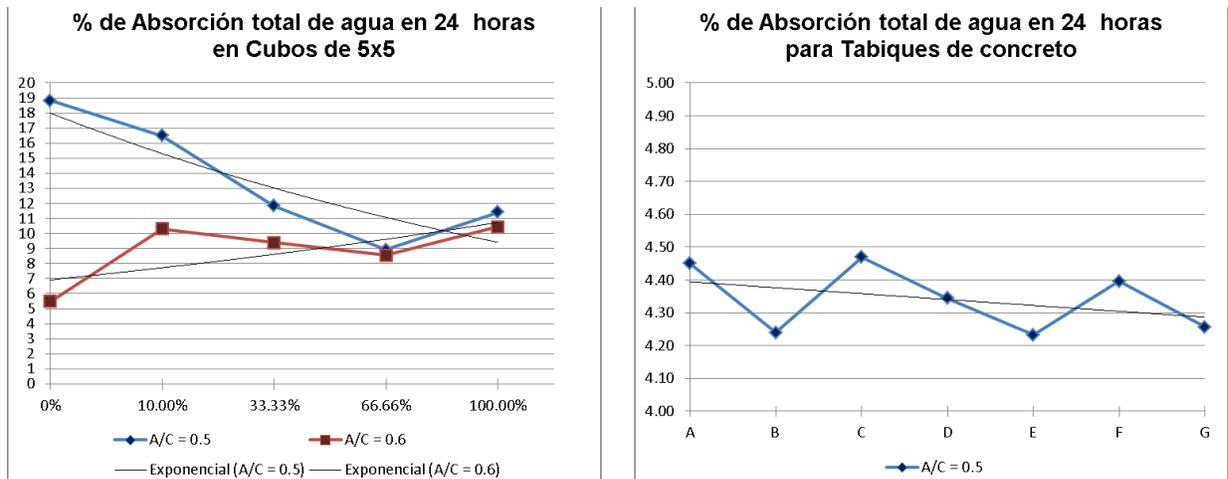


Figura 4. 8 (derecha) % de absorción en morteros Fuente: Elaborada por el autor
 Figura 4. 9 (izquierda) % de absorción en tabiques Fuente: Elaborada por el autor

Dimensiones

Morteros

Dimensiones determinadas por molde no absorbente de metal dando en promedio las siguientes distancias para los cubos; sin que la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014 señale desviaciones tolerables a sus dimensiones de 50X50 mm (Tabla 4.4).

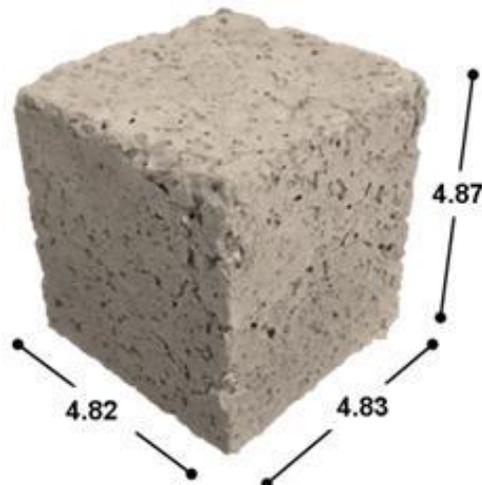


Figura 4. 10 Cubos de morteros. Fuente: Tomada por el autor.

Tabla 4. 4 Promedio de dimensiones para muestras de mortero Fuente: Elaborada por el autor

N° de muestras	Promedio		
	Base 1	Base 2	Alto
36	4.83	4.82	4.87

Tabiques de concreto

Dimensiones mínimas determinadas por la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 para tabiques de concreto estructural, así como sus tolerancias de diferimiento con las dimensiones reales (Ver Figura 4.6 y Tabla 4.5 con promedio de dimensiones).

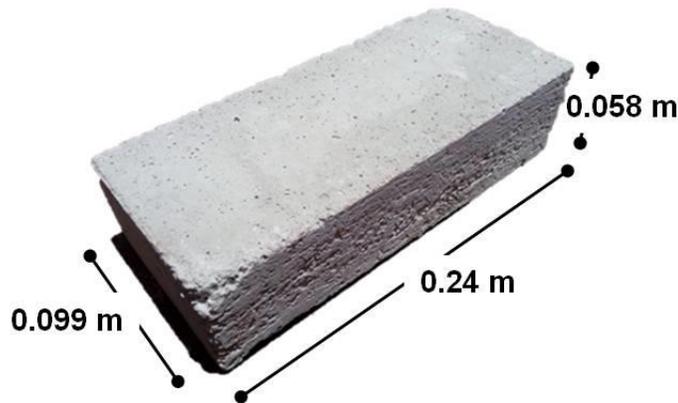


Figura 4. 11 Tabiques de mortero con RCD derivada de loseta cerámica. Fuente: Tomada por el autor.

Tabla 4. 5 Resultados reales de las dimensiones para los tabiques de concreto estructural y su cumplimiento con la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 Fuente: Elaborada por el autor

Tabique N°	Alto*	Ancho	Largo	Diferencia			Norma NMX 404 60x100x240 mm (cumple)
				± 3* (Alto)	±2 (Ancho y Largo)		
01 (A)	5.72	9.80	24	-2.8	-2.0	0	✓
02 (B)	5.85	9.87	24	-1.5	-1.3	0	✓
03 (C)	5.75	9.85	24	-2.5	-1.5	0	✓
04 (D)	5.80	9.87	24	-2.0	-1.3	0	✓
05 (E)	5.70	9.87	24	-3.0	-1.3	0	✓
06 (F)	5.85	9.85	24	-1.5	-1.5	0	✓
07 (G)	5.82	9.90	24	-1.8	-1.0	0	✓
Promedio	5.78	9.86	24	-2.2	-1.4	0	✓

4.2 Análisis de resultados

El reemplazo de arena de río por agregados reciclados de RCD derivados de loseta cerámica en la elaboración de mortero para tabiques de concreto cumple satisfactoriamente con porcentajes de hasta 100% en las variables dependientes siguientes: resistencia a la compresión (Tabla 4.6 y 4.7), % de absorción (Tabla 4.8 y 4.9) y no disgregación al tacto o al sumergirse en agua; dependiendo desde el punto de vista de varias normas nacionales e internacionales. En estas condiciones las siguientes tablas presentan que mezclas con determinado porcentaje de reemplazo de RCD cumple con las normas señaladas en los conceptos descritos.

Resistencia a la compresión

Morteros

Tabla 4. 6 Cumplimiento de las mezclas y ensayos de 5x5 con reemplazo de RCD con respecto a la Resistencia a la compresión de varias normas nacionales e internacionales.

N° de Mezcla	% de Reemplazo	r=a/c	Resultados de mezclas con % de RCD		Resistencia media		
					NMX 404	ASTM C55	ASTM C90
					MPa (kg/cm ²) 11 (110)	(psi) 2500	(psi) 1900
T1	0%	0.5	-	-	-	-	-
		0.6	16 (163.31)	2322.81	✓	X	✓
M1	10%	0.5	7 (68.19*)	969.89	X	X	X
		0.6	13 (135.81*)	1931.67	✓	X	✓
M3	33.33%	0.5	24 (243.87*)	3468.64	✓	✓	✓
		0.6	15 (150.07*)	2134.49	✓	X	✓
M6	66.66%	0.5	15 (157.94*)	2246.43	✓	X	✓
		0.6	18 (185.23*)	2634.58	✓	✓	✓
M0	100%	0.5	20 (203.67)	2896.86	✓	✓	✓
		0.6	26 (266.41)	3789.24	✓	✓	✓

Tabiques

Tabla 4. 7 Resistencia a la compresión (Kg/cm²) de tabique con reemplazo del 100% de agregados finos por RCD derivado de loseta cerámica comparado con normativas nacionales e internacionales. Fuente: Elaborada por el autor.

N° de Mezcla	% de Reemplazo	r=a/c	Resultados de tabiques con 100% de RCD		Resistencia media		
					NMX 404	ASTM C55	ASTM C90
					MPa (kg/cm ²) 11 (110)	(psi) 2500	(psi) 1900
02 (B)	100%	0.5	28 (283.76)	4036.02	✓	✓	✓
03 (C)			27 (273.98)	3896.91	✓	✓	✓
04 (D)			32 (325.50)	4629.70	✓	✓	✓
06 (F)			31 (313.22)	4455.04	✓	✓	✓
07 (G)			20 (204.92)	2914.65	✓	✓	✓
PROM.			27 (280.28)	3986.52	✓	✓	✓

Todos cumplen con la resistencia media de la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012 y de aquellas internacionales de las cuales deriva la primera. El promedio de los 5 tabiques (B, C, D, F, y G) en seguimiento a la norma, es por mucho superior a lo requerido.

Absorción

Morteros

Tabla 4. 8 Cumplimiento de las mezclas de cubos de morteros con reemplazo de RCD con respecto al % de absorción con respecto a normas nacionales e internacionales.

N° de Mezcla	% de Reemplazo	r=a/c	Absorción total de agua en 24 horas				
			Resultados de mezclas con % de RCD		NMX 404 12 %	ASTM C55 Y C90 MEDIA 15% NORMAL 13%	
			MEDIA	NORMAL			
T1	0%	0.5	18.8%	19.0%	X	X	X
		0.6	5.5%	5.7%	✓	✓	✓
M1	10%	0.5	16.5%	17.5%	X	X	X
		0.6	10.3%	11.0%	✓	✓	✓
M3	33.33%	0.5	11.8%	11.2%	✓	✓	✓
		0.6	9.4%	10.0%	✓	✓	✓
M6	66.66%	0.5	8.9%	10.0%	✓	✓	✓
		0.6	8.5%	9.7%	✓	✓	✓
M0	100%	0.5	11.4%	21.0%	X	✓	X
		0.6	10.4%	13.0%	X	✓	✓

Tabiques

Tabla 4. 9 Cumplimiento de las mezclas en Tabiques con reemplazo de RCD con respecto al % de absorción con respecto a normas nacionales e internacionales.

N° de Mezcla	% de Reemplazo	r=a/c	Absorción total de agua en 24 horas				
			Resultados de mezclas con % de RCD		NMX 404 12 %	ASTM C55 Y C90 MEDIA 15% NORMAL 13%	
			MEDIA	NORMAL			
Único 1:2,25	100%	0.5	4.34%	4.45%	✓	✓	✓
				4.24%	✓	✓	✓
				4.47%	✓	✓	✓
				4.34%	✓	✓	✓
				4.23%	✓	✓	✓
				4.40%	✓	✓	✓
				4.26%	✓	✓	✓

Disgregación

Las mezclas con proporciones de cemento - arena por arriba de 1:3 no se disgregaron al reemplazar los finos con RCD derivado de loseta cerámica, y al pasar de las pruebas piloto a ensayos de 50x50 mm.



Figura 4. 12 Pruebas piloto y ensayos de 50x50 mm. para pruebas de disgregación Fuente: Autor

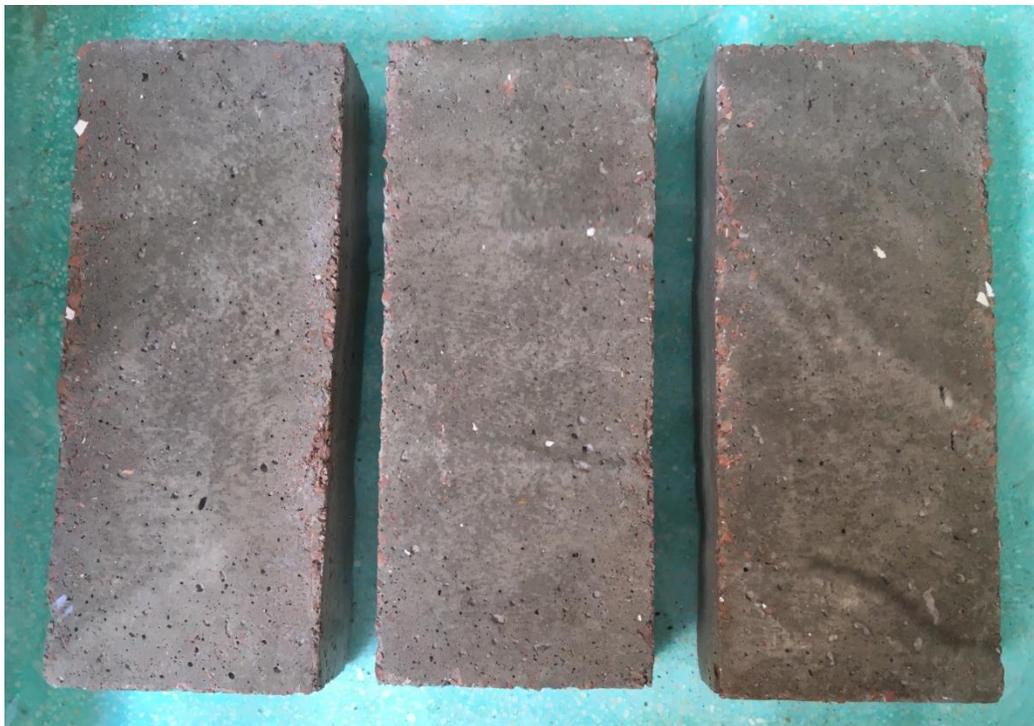


Figura 4. 13 Tabiques saturados en agua (no se disgregan). Fuente: Autor.

4.3 Discusión de resultados

De acuerdo con los estudios llevados a cabo y el estado del arte, los agregados cerámicos se usan en el concreto como sustituto de los agregados finos (arena) con cantidades entre 0 a 100 por ciento (*Tavakoli, Heidari, & Karimian, 2013*), es conveniente y se sugiere el hacer de los RCD derivados de losetas cerámicas, un material óptimo de uso común en la construcción, asumiendo obviamente sus limitantes. Los hallazgos revelan que, en general, el uso de RCD derivados de losetas cerámicas conduce a mejorar las propiedades del concreto.

La caracterización del RCD derivado de loseta cerámica en relación a la Densidad y % de Absorción son similares a los resultados de Tavakoli et. All (2013).

Los resultados proyectan la necesidad de continuar con más estudios experimentales en los que se obtengan información adicional la cual lleve a una evaluación más detallada de las variables independientes y dependientes estudiadas en el presente trabajo.

Con respecto a los estudios adicionales como la conductividad térmica, los resultados no fueron satisfactorios al no variar positivamente con respecto al material convencional con el que se elaboran tabiques, en todo caso fue similar; sin embargo, la posibilidad de elaborar tabiques no estructurales con resistencias a la compresión menores utilizaría menos materiales cementantes por lo que la conductividad térmica variaría.

4.4 Alternativas de proyectos de investigación a partir de los resultados

Los resultados conseguidos manifiestan la importancia de llevar a cabo más investigación sobre los RCD y sus efectos.

Llevar a cabo investigaciones del mismo RCD derivado de loseta cerámica a niveles químicos en relación a los materiales cementantes.

Realizar las pruebas de fuego no elaboradas por limitantes técnicas a los tabiques estructurales.

Evaluar el beneficio económico y ecológico del reemplazo de materias primas por RCD derivados de losetas cerámicas.

Capítulo 5. CONCLUSIÓN

Los resultados y la evaluación del reemplazo del agregado fino con RCD derivados de losetas cerámicas en la elaboración de tabiques estructurales en contraste con una hipótesis planteada y sus conclusiones se presentan a continuación:

- El reemplazo de arena de río por agregados reciclados de RCD derivados de loseta cerámica en la elaboración de mezclas para morteros y para la elaboración de tabiques macizos de concreto (tabicón) estructural cumple satisfactoriamente con porcentajes de hasta 100% de reemplazo en las variables dependientes siguientes: resistencia a la compresión y no disgregación al tacto o al sumergirse en agua.
- La variación de 0.5 a 0.6 en la relación agua/cemento favorece a que el material cementante y el filler (RCD derivado de loseta cerámica) actúen como un concreto con gravilla propiciando mayores resistencias por ser un material más denso y menos propenso a absorber agua que las mezclas con 0.5 de a/c.
- El RCD derivado de loseta cerámica como agregado fino en reemplazo de agregados naturales pierde adherencia en su superficie esmaltada, sin embargo, su adherencia en las caras cerámicas y dureza hace que las muestras fallen por corte en el agregado junto al material cementante.
- Los dos principales problemas de la construcción sobre el medio ambiente y su continuo impacto negativo se pretenden minimizar con la valoración de los RCD en este caso particular el derivado de losetas cerámicas; el conocer y estimar las potencialidades del residuo como material y su utilización como material reciclado contribuye al beneficio económico y ecológico, proporcionando la preservación de los recursos naturales, coincidiendo con los estudios de Caracterización de residuos de demolición y construcción para la identificación de su potencial de reúso. (Chica-Osorio & Beltrán-Montoya, 2018) .
- No se observaron efectos negativos los cuales concluyeran a evitar utilizar los RCD derivados de losetas cerámicas. En comparación con la mezcla testigo se encontraron similitudes y hasta mejoras en rendimiento.



Figura 5. 1 Vista del corte del tabique con reemplazo del 100% de finos por RCD derivado de loseta cerámica Fuente: Autor

Capítulo 6. APÉNDICE

Pruebas piloto

Basados en los trabajos de Díaz y de Oteiza, en la información de las empresas chiapanecas que elaboran block hueco (Díaz & de Oteiza, 2000) y la UNACEM 2015 (Ecuador) se presenta la siguiente Tabla 6.1 de las pruebas piloto para definir la dosificación a probar para ser el testigo base del trabajo.

Tabla 6. 1 Dosificaciones de distintas empresas y organizaciones para Bloques Huecos Fuente: elaborada por el autor con información de distintas empresas.

Código	Cemento (sacos)	Arena	Granzón	Agua	Relación Cem-are	Relación a/c	Resistencia F'c (media)
MP-03	1	0.108 M ³	-	48 lt	1:3	1.92	20.75
BF-06	1	0.072 M ³	0.072 M ³	18 lt	1:2:2	0.72	38.37
PC-08	1	0.072 M ³	0.018 M ³	38 lt	1:2:0.5	1.52	25.32
LSVAL	1	0.160 M ³	0.057 M ³	17.5 lt	1:5:1.7	0.70	92.45
UCLM	1	0.100 M ³	-	28 lt	1:3	0.56	160.00
UNACEM	1	0.108 M ³	-	27 lt	1:3	0.60	> 150.00

Derivado de lo anterior se trabajó con una relación agua-cemento ($r=a/c$) de 0.50 y como delimitante una relación cemento – arena de 1:2, 1:4 y 1:6 según la Tabla 6.2. Equipo de mezclado de tipo manual sin vibrar, compactado en 3 capaz y golpeado sobre su base 10 veces por capa; asimismo apisonado 10 veces las 2 primeras capaz y 15 la última. Los Especímenes cilíndricos fueron curados sumergiéndolos en agua. Posteriormente, se realizaron las pruebas de resistencia a la compresión a los 7 días de edad.

Tabla 6. 2 Dosificación de mortero para testigo Fuente: Autor

PROPORCIÓN CEMENTO - ARENA	CEMENTO	ARENA	a/c
1:2	1	2	0.5
1:4	1	4	0.5
1:6	1	6	0.5

A partir de los resultados preliminares para la muestra testigo de F'c de las 3 primeras proporciones se definió trabajar con las proporciones 1:3 y 1:2.5, obteniendo los siguientes resultados (Ver Tabla 6.3).

Tabla 6. 3 Resultados de las pruebas piloto para obtención y definición de la proporción del testigo.
Fuente: Elaborada por el autor

PROP	RELACIÓN A/C	F'c (Kg/cm ²) 7 DIAS	"F'c (Kg/cm ²) 28 DIAS (Posible)"	% DE ABSORCIÓN	CUMPLE NORMA		F'c (Kg/cm ²) 28 DIAS (por hacer pruebas) (SALAMANCA, 1985)	
					7 DIAS	28 DIAS		
1:2	0.50	115.67	192.60	3.86	SI	SI	182.77	172.02
1:2.5	0.50	80.26	144.54	7.92	NO	SI	130.37	127.20
1:3	0.50	80.28	144.75	10.29	NO	SI	130.39	127.23
1:4	0.50	69.52	129.36	11.13	NO	SI	114.48	113.22
1:6	0.50	54.29	107.32	15.70	NO	SI	91.94	92.91

Como observación la proporción 1:6 presenta una calidad baja para manejarla manualmente como probeta terminada debido a que se disgrega y pierde sus propiedades geométricas en la mayoría de sus aristas. La Norma NMX-C-404-ONNCCE-2011 considera los defectos superficiales y la disgregación al tacto (o al sumergirse en agua) como no aceptables por afectar la resistencia de las piezas.

Como resultado de las pruebas piloto se determina trabajar con las proporciones 1:4, 1:4.5, 1:5 y 1:5.5 en cubos de 50x50 mm para ensayarlos a 7 y 28 días. Sin embargo, al cambiar el volumen de cilindros a cubos, la geometría de estos resolvió bajo pruebas posteriores la utilización óptima de la proporción 1:3 de cemento-arena, cumpliendo esta con la resistencia a la compresión, la absorción requerida y la no disgregación al tacto.



Figura 6. 1 Pruebas piloto Fuente: Autor.

Microestructura del RCD derivado de loseta cerámica

Como pruebas adicionales se llevó a cabo la Microestructura del RCD derivado de loseta cerámica, con la finalidad de comparar este material con la arena de Río y conocer algunos de sus componentes químicos, para posteriores trabajos y seguimientos del presente trabajo.

El perfil fue generado en la Universidad Politécnica de Chiapas por el Laboratorio de Energías Renovables con un microscopio electrónico de barrido, marca y modelo: JEOL JSM-7100F.

El dispositivo permite obtener el perfil SEM (Scanning Electron Microscope) en imágenes del RCD derivado de loseta cerámica a diferentes ampliaciones. El equipo trabaja con un filamento que genera electrones los cuales barren la muestra y permite que el detector elabore una imagen. Trabaja a altos vacíos por lo que la muestra debe llegar seca.

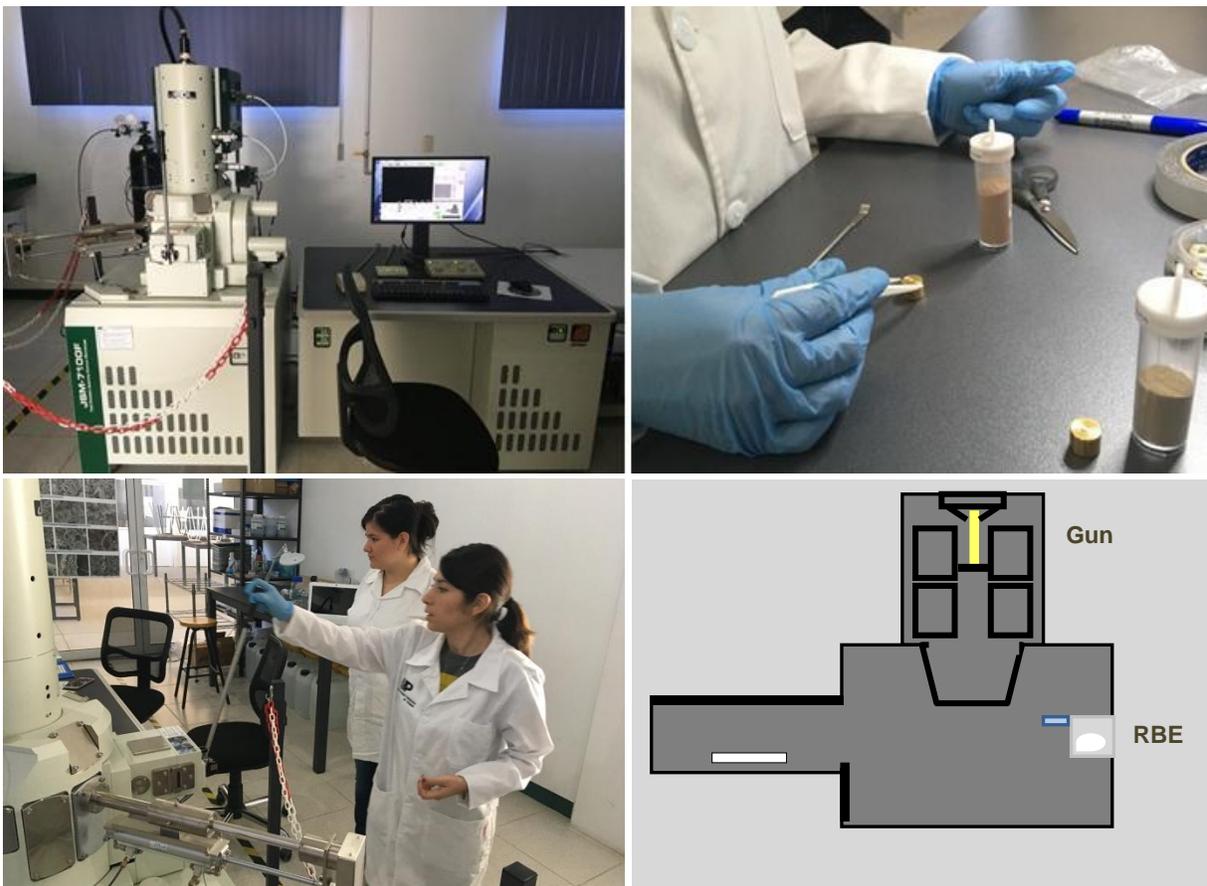


Figura 6. 2 a) Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), b) colocación de la muestra sobre el “stub o portamuestra” c) activación del acceso del material a la cámara del SEM d) esquema del SEM. Fuente: Autor y Arq. Javier Ríos Álvarez, esquema elaborado por el autor.

Para realizar el estudio se utiliza la muestra de RCD derivado de loseta cerámica, que fue tamizada y pasó la malla No 200. Las imágenes de SEM se realizaron en cinco escalas (Ver figuras 6.3 y 6.4): ampliación baja (3000x y 5000x), media (10000x y 15000x) y alta (20000x).

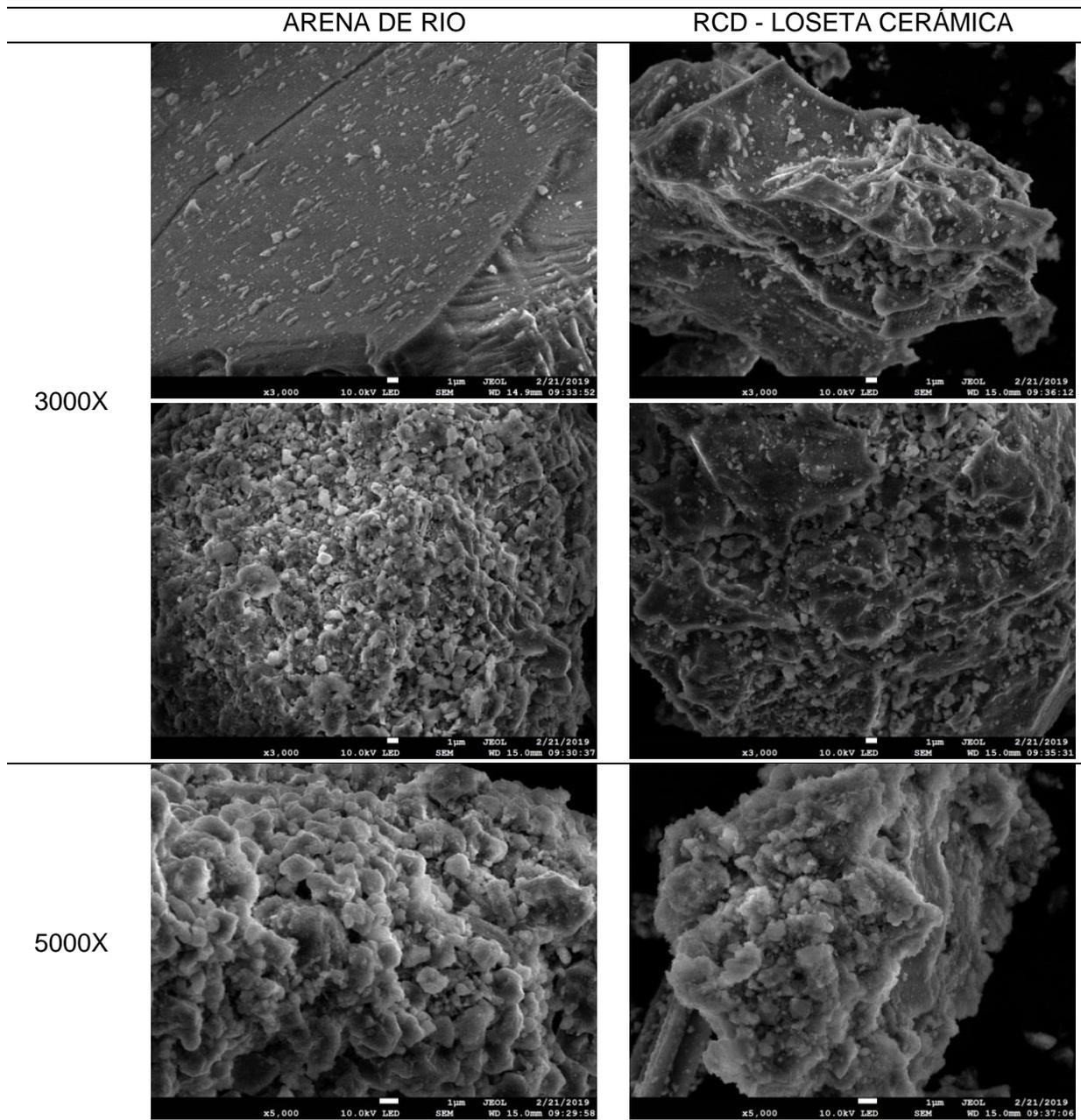


Figura 6. 3 Imágenes SEM a escala baja de 3000x y 5000x Fuente: Mtra. Edith Ponce Recinos.

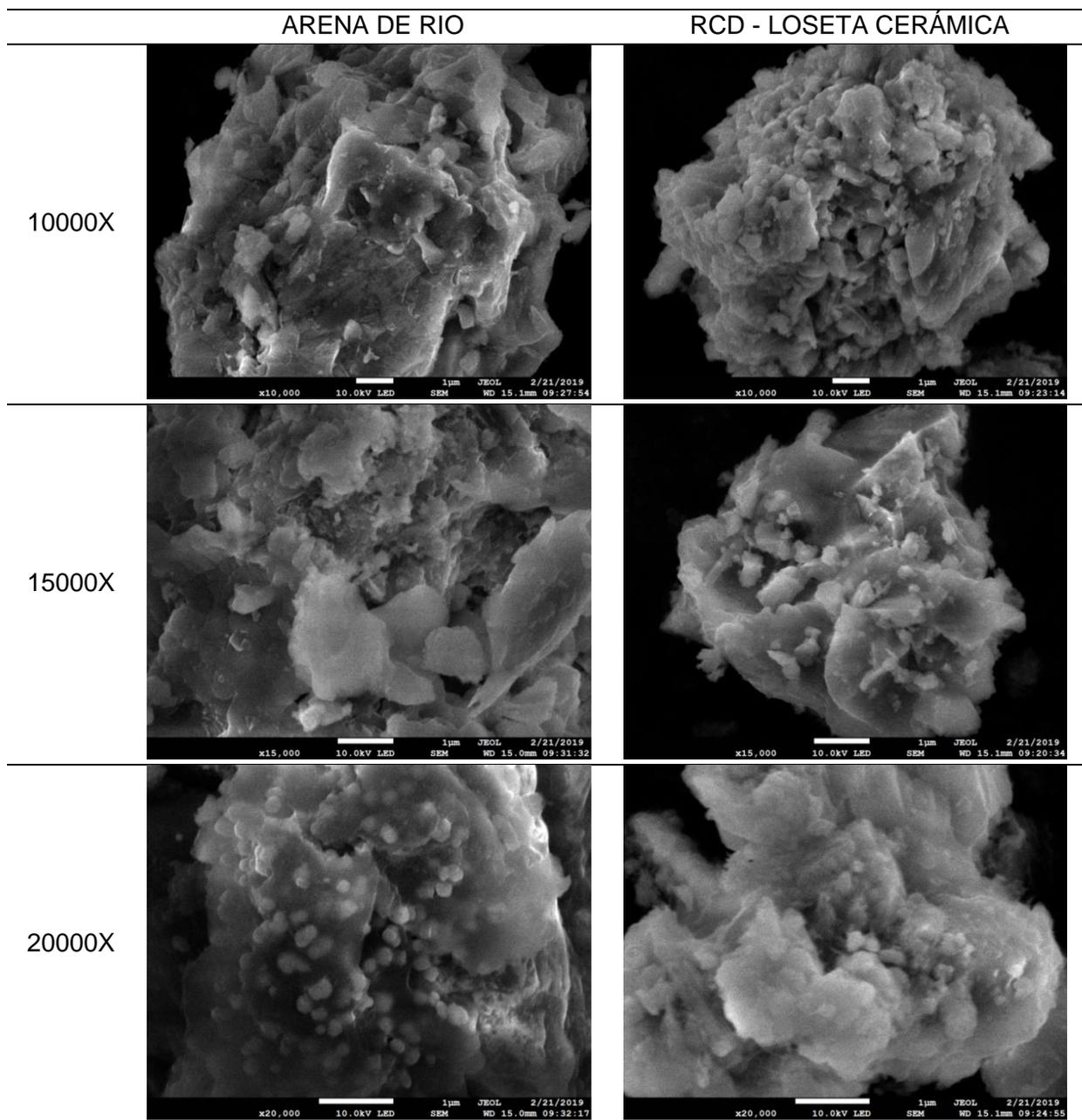


Figura 6. 4 Imágenes SEM a escala media de 10000x - 15000x y escala alta de 20000x Fuente: Mtra. Edith Ponce Recinos.

El barrido que se observa en la imagen de ampliación 20000x de RCD (derecha) es un efecto por la carga de electrones que no fluyen y quedan en la superficie por lo cual es difícil tener una mejor toma de la muestra.

Ambos polvos que se utilizaron en este estudio tienen una textura rugosa, con partículas angulosas y varían desde pequeñas a grandes (Ver Figura 6.5) en similitud con estudios sobre polvos de cerámica (James & Kasinatha Pandian, 2018). Según

los estudios de Chica-Osorio llamada de morfología irregular tipo “blocky”, asociados a los RCD cerámicos (Chica-Osorio & Beltrán-Montoya, 2018).

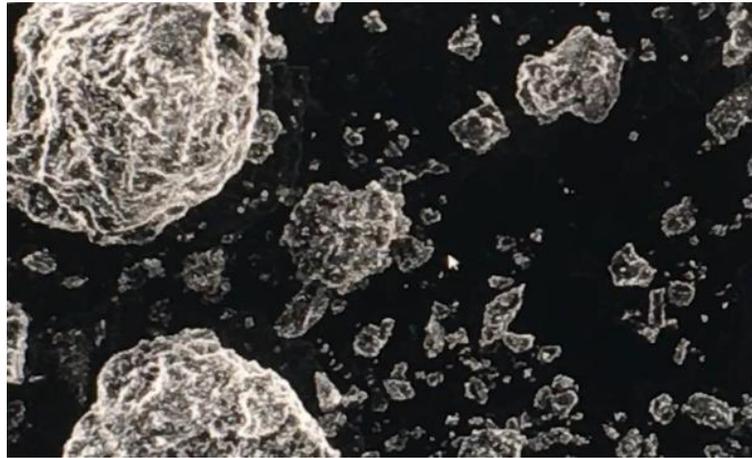


Figura 6. 5 Campo de visión general del SEM. Fuente: Mtra. Edith Ponce Recinos.

Las estructuras de las dos muestras son similares entre sí, aunque la de RCD derivada de loseta cerámica es más definida, resultado del tratamiento térmico a la que fue sometida. Y la arena tiende a ser más amorfa y con más brumos o partículas de silicio como se observa en la imagen a 20000x según el Dr. Daniel Hernández Cruz.

La única imagen que sale fuera de similitudes es la presentada en la de 3000x para la arena de río que tiene forma de laja (plana), siendo esta común en áridos y conocidas como lajas de sílice (Sanjuán Fernández, 2012).

Composición química del RCD derivado de loseta cerámica

En correspondencia a la composición química de los polvos estudiados en las pruebas SEM, se llevó a cabo también de manera adicional la prueba del Difractómetro de Rayos X.

Para conocer la composición química porcentual aproximada del polvo de RCD derivado de loseta cerámica y la arena de río se utilizó el Difractómetro de Rayos X (XRD), marca y modelo: RIGAKU Smartlab (Ver Figura 6.6)

Es un equipo que bombardea la muestra con rayos X para obtener su patrón de difracción, el cual es traducido por el software del equipo en una gráfica de picos de intensidades la cual puede ser comparada con una base de datos interna de compuestos orgánicos e inorgánicos para darnos la composición exacta del material analizado (Ver figura 6.7).

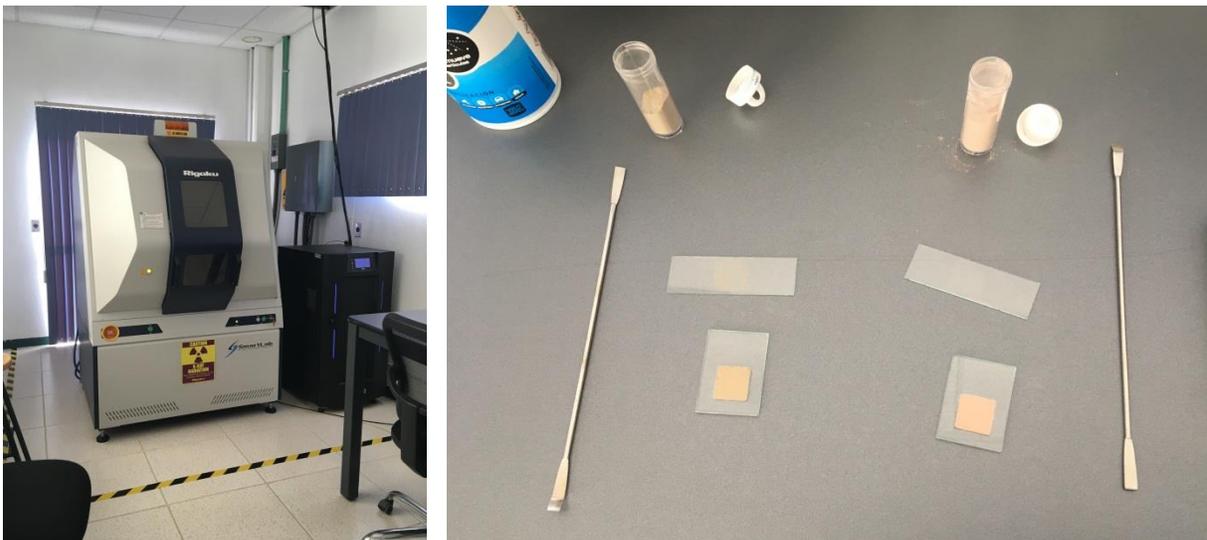


Figura 6. 6 Difractómetro de Rayos X (izquierda) y muestras de polvos de arena de río y RCD para su análisis (derecha) Fuente: Tomada por el autor

“Este patrón de difracción se puede considerar como una huella digital química, y la identificación química se puede realizar comparando este patrón de difracción con una base de datos de patrones conocidos.” (Rigaku Corporation and its Global Subsidiaries, 2019).

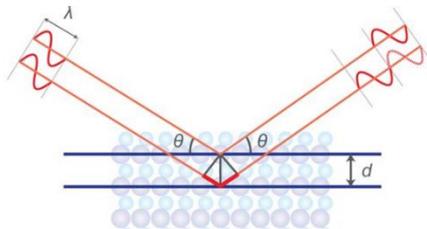


Figura 6. 7 Esquema de bombardeo de rayos X a la muestra Fuente: (Rigaku Corporation and its Global Subsidiaries, 2019)

El difractómetro tenía las condiciones de medición estándar presentadas en la siguiente tabla:

Tabla 6. 4 Condiciones de medición (Measurement conditions) Fuente: SmartLab Rigaku

X-Ray	40 kV , 44 mA	Scan speed / Duration time	5.0000 deg/min
Goniometer	SmartLab	Step width	0.0400 deg
Attachment	Standard	Scan axis	Theta/2-Theta
Filter	None	Scan range	5.0000 - 80.0000 deg
CBO selection slit	PB	Incident slit	1.000mm
Diffrected beam mono.	None	Length limiting slit	10.0mm
Detector	SC-70	Receiving slit #1	20.000mm
Scan mode	CONTINUOUS	Receiving slit #2	20.000mm

Para la prueba se utiliza la muestra de RCD derivado de loseta cerámica y arena de río, que fueron tamizadas y pasaron la malla No 200. Además, se establece un tiempo 15 minutos para cada medición. Una vez pasado el tiempo establecido, se estima el porcentaje de cada fase según el área relativa de cada pico identificativo (Barré & Velde, 2010). Los elementos químicos que se buscan son Silicio y Calcio, lo cual nos dará la trabajabilidad y reacción química con el cemento CPO 30R. No existe tarjeta para búsqueda específica.

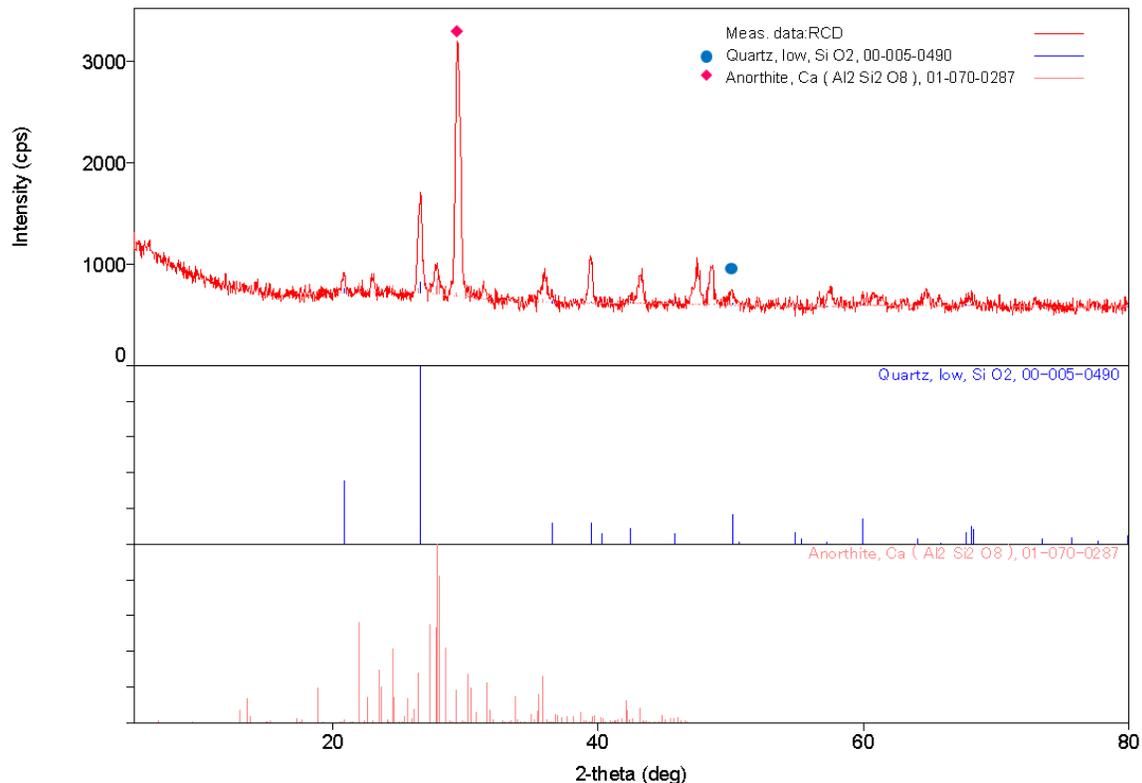


Figura 6. 8 Mineralogía general del RCD derivado de loseta cerámica señalando elementos de silicio y calcio. Fuente: Mtra. Edith Ponce Recinos y autor.

En general el análisis del RCD derivado de loseta cerámica arroja que tiene un alto contenido de silicatos, así como lo establece James & Kasinatha Pandian (2018) y en comparativa con la gráfica resultado del XRD donde se evidencian los silicatos cálcicos de aluminio, originados por los elementos químicos de búsqueda (ver Figura 6.8).

De la misma manera James & Kasinatha Pandian (2018) presentan la mineralogía y composición química del polvo cerámico (Tabla 6.5) del cual concluiremos junto a los resultados de la XRD de la muestra de RCD derivado de loseta cerámica, ambos aportan beneficios positivos al mezclarse con el cemento Portland Ordinario, toda vez que tiene un alto contenido de silicatos (SiO_2).

Tabla 6. 5 Composición química del polvo cerámico Fuente: Elaborada por el autor con información de James & Kasinatha Pandian (2018)

(%)	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	P_2O_5	TiO_2	SO_3
CD	57.14	25.24	1.88	6.53	3.89	1.11	0.02	1.81	0.11	0.68	0.01

La anortita fue el mineral presente en el pico n° 11 con más intensidad, este se representa químicamente como $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ y se clasifica como silicato. Este mineral es utilizado principalmente en las cerámicas. Lo que corresponde a lo expuesto en el apartado 1.2 Antecedentes tema Loseta cerámica, su historia y fabricación contemporánea (Figura 1.20). Donde como resultado de las etapas de cocción en las losetas cerámicas los resultantes mineralógicos entre otros tienen a la anortita como composición química.

Conductividad térmica (Métodos de Ensayo, Pruebas y determinaciones)

Método de determinación de la conductividad térmica de un material sólido opaco realizado de acuerdo con la norma ASTM C 177 (guarded-hot-plate), sobre el método de prueba estándar para medir el flujo de calor en estado estacionario y las propiedades de transmisión térmica por medio del aparato de placa caliente. El equipo (EPCG) utilizado para este ensayo fue un conductímetro de placa caliente guardada desarrollado en el Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables de Vivienda sede UNACH bajo la misma norma (medición de conductividad térmica en estado estable).



Figura 6. 9 Componentes principales del instrumento para medirla conductividad térmica de los materiales Fuente: Elaborada por el autor basada en Lira-Cortes at all (2008)



Figura 6. 10 Esquema de los puntos 1 a 3 del procedimiento para realizar mediciones de conductividad térmica según Lira (2008) Fuente: Elaborado por el autor.

El procedimiento para realizar las mediciones se puede resumir en las siguientes etapas (Lira-Cortés, González Rodríguez, & Méndez-Lago, 2008):

1. Selección de la muestra,
2. Preparación de la muestra e instalación en el aparato,
3. Establecer el estado permanente térmico,
4. Adquisición de datos, y
5. Análisis de resultados.

Para ampliar los pasos descritos y definiciones, ver el punto II. Procedimiento del Informe No. LNVCS-CTMS-RCD1-04/2019, así como las condiciones experimentales para la medición.

- **Resultados de la Conductividad térmica**

Los resultados de la medición de la conductividad térmica se presentan en la siguiente tabla (Ver Tabla 6.6) con los resultados previos de la muestra (Ver Figura 6.11), el informe completo se puede ver en Apéndice con el nombre de: Informe No. LNVCS-CTMS-RCD1-04/2019 (en 06 fojas útiles):

Tabla 6. 6 Resultados de la medición de la conductividad térmica Fuente: Elaborada por el autor en base al Informe No. LNVCS-CTMS-RCD1-04/2019

N°		VALOR
1	Muestra	RCD1
2	Espesor (m)	0.11925
3	Temperatura de medición (°C) Temperatura media de trabajo del EPCG	36.75
4	Conductividad térmica aparente (W/m K)	2.375

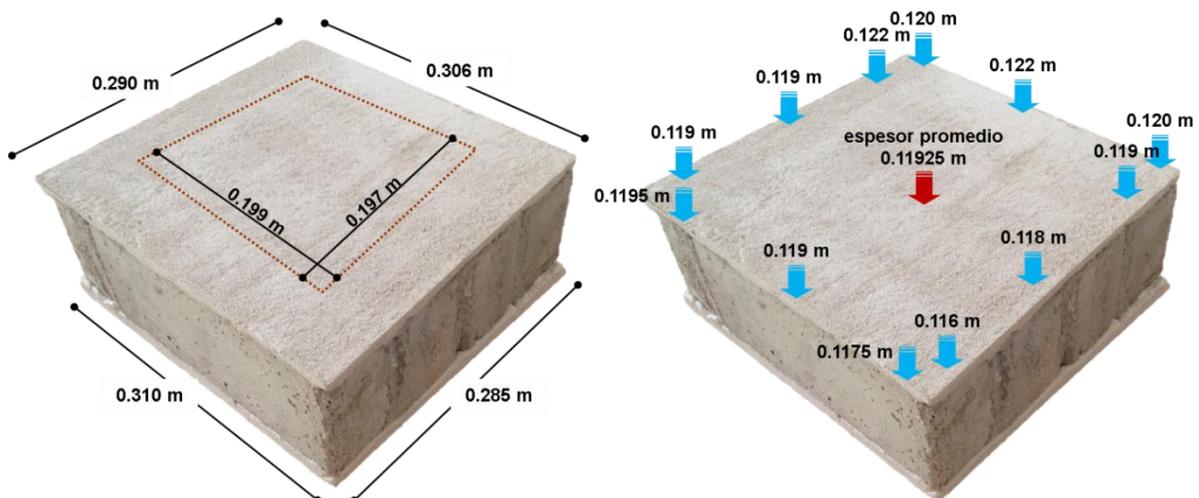


Figura 6. 11 Medidas de la muestra RCD1 para medición de la conductividad térmica Fuente: Elaborada por el autor

- **Análisis de la Conductividad térmica**

El resultado de la muestra RCD1 se encuentra entre la conductividad térmica del material clasificado como Hormigón armado del Código Técnico de la Edificación (CTE) y del Hormigón convencional para piezas prefabricadas; teniendo una similar tendencia con respecto al primero que se encuentra entre una $\lambda=2,30$ y $2,50$ (Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA, 2010), con valores intermedios. La semejanza de valores probablemente se deba al resultado de las pruebas físicas del RCD derivado de loseta cerámica en comparativa con la arena colada de río.

Tabla 6. 7 Comparativa del resultado de conductividad térmica de la muestra RCD1 con muestras del CTE. Fuente: Elaborada por el autor y datos de CTE (2010).

Conductividad térmica (W/m K)			
Nº	Hormigón armado CTE*	Muestra RCD1	Hormigón convencional para piezas prefabricadas CTE*
1	2,30 a 2,50	2,375	0,97 a 1,90



LABORATORIO NACIONAL DE VIVIENDA
Y COMUNIDADES SUSTENTABLES



DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

BLOQUE RCD

Informe No. LNVCS-CTMS-RCD1-04/2019

Interesada: Diana Maritza Tovilla Ramírez, Estudiante de Maestría en Arquitectura y Sustentabilidad, Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas.

Muestra: Bloque de RCD de 0.199 x 0.197 m con un espesor promedio de 0.11925 m.

Número de identificación: RCD1

Procedimiento: Estado estable con equipo de placa caliente

Lugar de medición: Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables – Sede UNACH

Período de medición: 16 de mayo – 17 de mayo de 2019

Fecha de emisión: 24 de mayo de 2019

Nota: El estudiante participó en el proceso de medición y habilitación del ensayo.

Dr. Raúl Pável Batz Torres

Jefe de Investigación y Desarrollo del LNVCS-UNACH

Midió, revisó y aprobó



INFORME DE RESULTADOS

I. MUESTRA



Figura 1: Habilitación de la muestra



Figura 2: Medición de la conductividad térmica de bloque de RCD

- Informe No. LNVCS-CTMS-RCD1-04/2019 Pág. 3 de 6



LABORATORIO NACIONAL DE VIVIENDA
Y COMUNIDADES SUSTENTABLES



II. PROCEDIMIENTO

Para la medición de la conductividad térmica se usó un equipo de placa caliente con guarda (EPCG). El equipo está compuesto por una placa caliente conectada a un transformador variable de voltaje y una placa fría conectada a un baño termostático de recirculación. Se verificó la planicidad de la muestra, se midió su espesor y se colocó entre la placa fría y la placa caliente. Una transferencia de energía térmica (calor) se generó en la placa caliente hacia la placa fría a través de la muestra (Figura 2). Se estableció el estado estable en la muestra. Las temperaturas de las placas fueron medidas con termopares calibrados, el área de medición con flexómetro, el espesor con calibrador vernier y la potencia suministrada con multímetros digitales.



Figura 3: Montaje experimental

Universidad Autónoma de Chiapas
Facultad de Arquitectura, COCOVI
Boulevard Betsario Domínguez Km 1081,
Sin número, Tarán, C.P. 29050
Justo Gutiérrez, Chiapas, México
tel. (01 961) 615 3780
www.xtpeira@inadecvivienda.org



- Informe No. LNVCS-CTMS-RCD1-04/2019 Pág. 4 de 6



LABORATORIO NACIONAL DE VIVIENDA
Y COMUNIDADES SUSTENTABLES



La conductividad térmica aparente del material se determinó a partir de la ecuación de estado estable para el equipo de placa caliente:

$$\lambda = \frac{qL}{\Delta T A}$$

q es el flujo de calor a través de la muestra en W.

λ es la conductividad térmica aparente de la muestra en W/m K.

ΔT es la diferencia de temperatura aplicada a la muestra en °C ó K.

L es el espesor de la muestra en m.

A es el área efectiva de la sección transversal en m².

La resistencia térmica está definida como el inverso de la conductividad térmica multiplicada por el espesor de la muestra.

$$R = \frac{L}{\lambda}$$

Cuando una muestra de material es un compuesto laminar, contiene porosidades, celdas vacías o mezclas de materiales, el calor se puede transferir por convección y radiación, además de la conducción, en estos casos al parámetro λ , de la ecuación anterior, se le denomina conductividad térmica efectiva o aparente.

III. RESULTADOS

	VALOR
Muestra	RCD1
Espesor (m)	0.11925
Temperatura de medición (°C)	36.75
Temperatura media de trabajo del EPCG	
Conductividad térmica aparente (°C)	2.375

Universidad Autónoma de Chiapas
Facultad de Arquitectura, COCOVI
Boulevard Belisario Domínguez Km 1081,
Sin número, Tuxtla, C.P. 29050
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
Tel. (01 961) 615 3780
www.laboratoriodevivienda.org



- Informe No. LNVCS-CTMS-RCD1-04/2019 Pág. 5 de 6



LABORATORIO NACIONAL DE VIVIENDA
Y COMUNIDADES SUSTENTABLES



IV. Valores experimentales

Variable	Valor promedio
Temperatura en la placa caliente (°C)	49.13
Temperatura en la placa fría (°C)	25.19
Gradiente de temperatura en la muestra (°C)	23.94
Temperatura media o de la prueba (°C)	37.16
Temperatura ambiente (°C)	31.41
Humedad relativa (%HR)	59.2
Espesor de la muestra (m)	0.11295
Área de medición (m ²)	0.039203
Potencia suministrada (W)	477.88

V. Capturas de interfaz al momento del estado estable

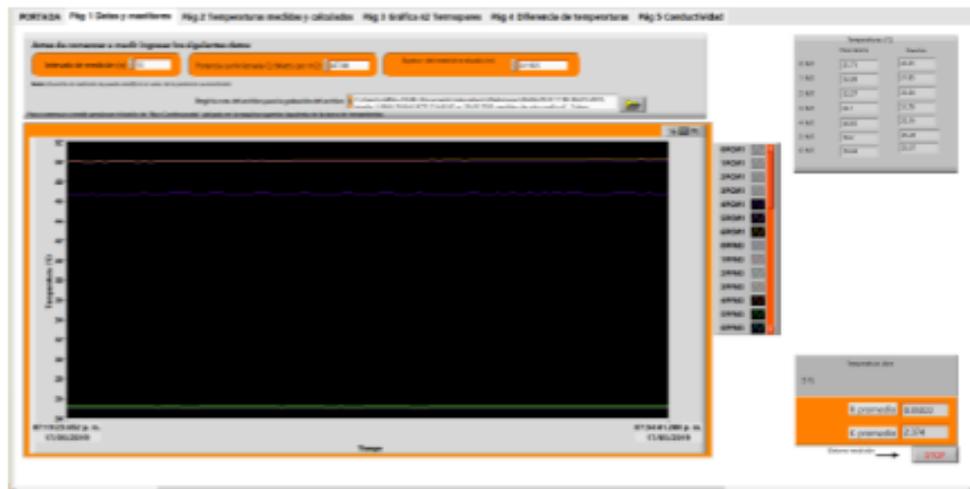


Figura 4: Captura de interfaz al momento del estado estable, página 1.

Participaciones en Congresos, Coloquios, Encuentros, etc.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

Red de Vivienda y Hábitat Sustentable del Sur – Sureste de México



UAGro **Cuerpo Académico: "Arquitectura, Arte y Conservación del Patrimonio"** **UAGro - CA - 80**

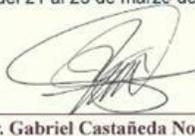
Otorgan la presente **CONSTANCIA** a:

Diana Maritza Tovilla Ramírez

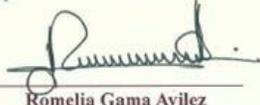
Por su participación como **PONENTE** en la 8ª. Reunión de la Red y Encuentro de Diseño, Arquitectura, Ingeniería y Urbanismo sobre el Hábitat Sustentable. Celebrados en la ciudad de Taxco, Guerrero, México los días del 21 al 23 de marzo de 2018.



Dr. Javier Sajdaña Almazán
RECTOR UAGro



Dr. Gabriel Castañeda Nolasco
Presidente de la Red



Romelia Gama Avilez



Jaime Silva González
Coordinadores de la 8ª. Reunión y Encuentro DAIUHS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

Facultad de Arquitectura
Campus I

Otorgan el presente

RECONOCIMIENTO

A la:

Arq. Diana Maritza Tovilla Ramírez

Por su participación como Ponente en el Coloquio 2018 "Estudios de Arquitectura y Urbanismo en Chiapas", en el marco de las actividades de la Maestría en Arquitectura y Urbanismo; realizado los días 21, 22 y 23 del mes de mayo del año en curso en las instalaciones de la Facultad de Arquitectura; con su avance de tesis denominada: "Prefabricados de concreto usando residuos de construcción y demolición hacia una eficiencia energética".

"Por la Conciencia de la Necesidad de Servir"



M.A. Berzain Cortés Martínez
Director
Facultad de Arquitectura



Dr. Raúl Pavel Ruiz Torres
Coordinador de Investigación
y Posgrado FA-UNACH



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Mayo 2018.



**Universidad Autónoma de Chiapas
Facultad de Arquitectura**



en su papel de Coordinador de la Sede Regional Mesoamericana del Octavo Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático
Otorga la presente

CONSTANCIA

a
Diana Maritza Tovilla Ramírez
por su participación como ponente del
**Octavo Congreso Nacional de Investigación
en Cambio Climático**

La presentación se denominó "Residuos de Construcción y Demolición derivados de losetas cerámicas sustituyendo agregado fino en bloques huecos" y se impartió en las instalaciones de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
Lunes 08 de Octubre de 2018

Dr. Gabriel Castañeda Nolasco
Coordinador Sede UNACH

Dr. Carlos Gay García
Octavo Congreso Nacional de
Investigación en Cambio Climático
Coordinador General



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA C-I
GESTIÓN 2018-2022**



Se otorga el presente

RECONOCIMIENTO

A:

Tovilla Ramírez Diana Maritza

Por haber presentado la ponencia

"Prefabricados de concreto usando residuos de construcción
y demolición hacia una eficiencia energética."

en el marco de la *3ra. Jornada de Arquitectura y Urbanismo* que se llevó a cabo los días 29 y 30 de noviembre de 2018, en las instalaciones de la Facultad de Arquitectura.

"Por la Conciencia de la Necesidad de Servir"

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 30 de Noviembre de 2018

Financiado por PFCE 2018



Dra. Teresa del Rosario Argüello Méndez
Coordinadora de Investigación y Posgrado
de la Facultad de Arquitectura



Mtro. José Luis Jiménez Albores
Director de la Facultad de Arquitectura



Otorga la presente

Constancia

a

Diana Maritza Tovilla Ramírez

Por su participación en el **"Primer Encuentro de Estudiantes de Posgrado"**, de la Maestría en Economía, Política y Ambiente y la Maestría en Arquitectura y Urbanismo de las Facultades de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México (**UNAM**) y la Universidad Autónoma de Chiapas (**UNACH**), y como ponente en el "Coloquio de estudiantes", con la presentación de avances de tesis de su autoría, denominada: **"Residuos de construcción y demolición derivados de losetas cerámicas sustituyendo agregado fino en bloques huecos."**

Lo anterior, en el marco de las actividades de Intercambio Académico de Estudiantes de Posgrado en Arquitectura **UNAM-UNACH**, durante el periodo del 8 al 11 de octubre de 2018, con sede en la Facultad de Arquitectura de la **UNACH**.

Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, a 8 de octubre de 2018.



"Por la conciencia de la necesidad de servir"

Arg. Víctor Rubén Córdova Redonda
Secretario Académico

Mtro. en Arq. José Luis Jiménez Albores
Director





LA FACULTAD DE ARQUITECTURA DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 A TRAVÉS DE SU DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
 Y ACTUALIZACIÓN DOCENTE
 LA RED DE VIVIENDA Y HÁBITAT SUSTENTABLE
 DEL SUR-SURESTE DE MÉXICO

otorga el presente
RECONOCIMIENTO

a la

Mtra. Diana Maritza Tovilla Ramírez

por su participación como ponente con el tema:

**Residuos de construcción y demolición (RDC)
 derivados de losetas cerámicas, como reemplazo de agregado fino
 en la elaboración de bloques huecos para uso estructural**

como parte de la

9ª REUNIÓN DE LA RED DE VIVIENDA Y HÁBITAT SUSTENTABLE 2019
 del 23 al 26 de abril de 2019

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
 CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO
 ABRIL 2019

Dr. Gabriel Castañeda Nolesco
 Presidente de la Red de Vivienda y Hábitat Sustentable



M en Arq. Marcos Mazari Hiriart
 Director de la Facultad de Arquitectura



Dr. Alberto Mucño Vélez
 Coordinador del Laboratorio
 de Materiales y Sistemas Estructurales



Arq. Héctor Alfonso Ferreiro León
 Jefe de la División de Educación Continua
 y Actualización Docente



Listado de Figuras

Figura 1. 1 Los impactos de la construcción sobre el medio ambiente Fuente: Arquitectura y construcción sostenibles: conceptos, problemas y estrategias (Acosta D., 2009) Figura 3-1..1	
Figura 1. 2 Explotación de Canteras y Extracción de arena y arcillas (R9) sin unidad con periodicidad mensual en México Fuente: (Banco de México , 2011).....2	2
Figura 1. 3 Extracción de minerales, metálicos y materiales de construcción. Fuente: Elaborada Por el autor con información de SEMARNAT (2016).3	3
Figura 1. 4 (arriba) Deterioro ambiental debido a la extracción en canteras de materiales pétreos en Cañón del Sumidero Fuente: Frankof.....4	4
Figura 1. 5 (derecha) Extracción de arena en el río Santo Domingo en Chiapa de Corzo Fuente: Misael Zeñay4	4
Figura 1. 6 Producción mundial de residuos sólidos urbanos Fuente: (Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, 2017) Elaborada por el autor.....5	5
Figura 1. 7 Generación de RME en nuestro país durante el periodo 2006-2012. Fuente: (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, LGPGIR; DOF, 2003; INECC, 2012). Elaborada por el autor.6	6
Figura 1. 8 Contribución de los materiales necesarios para la construcción de 1 m2 sobre las emisiones de CO2 asociadas a su fabricación. Fuente: Elaborada por el autor con información de Cuchí A, Wadel G, López F, Sagrera A, 2007.....7	7
Figura 1. 9 Mapa conceptual de los RCD Fuente: (De Santos Marián, Monercillo Delgado, & García Martínez, 2011) 11	11
Figura 1. 10 Nave de la Basílica de Santa María de los Arcos Fuente: W. Alberto Sifuentes G..... 14	14
Figura 1. 11 Iglesia Santiago de Posta en Honduras con piedras de obra con jeroglíficos mayas del 900 A.C. Fuente: Marbin Hernández.....15	15
Figura 1. 12 Coliseo Romano como cantera y basurero recuperado en los siglos XVIII y XIX Fuente: Getty Images 15	15
Figura 1. 13 Obra de Antonio Gaudí el Parque Güell en Barcelona, España Fuente: Tomada por el autor 16	16
Figura 1. 14 Las mujeres de escombros alemanas empezaron a reconstruir Alemania después de la guerra Fuente: blogaleman.wordpress.com/ 17	17
Figura 1. 15 Trümmerfrauen Berlín 1945 Fuente: Fred Ramage..... 17	17
Figura 1. 16 Cinturón del Litoral en Barcelona Fuente: ITeC..... 18	18
Figura 1. 17 Decoración de las paredes con azulejos verdes y azules Fuente: Ancient Resource 19	19
Figura 1. 18 Cerámica arquitectónica Nazarí en Alhambra, Granada Fuente: Museo de la Alhambra. 19	19
Figura 1. 19 Mosteiro de Alcobaça (Azulejos), Portugal Fuente: Pinterest 20	20
Figura 1. 20 Fases del proceso cerámico Fuente: Elaborada por el autor con información de Galán Huerto et all (2006).....21	21
Figura 1. 21 Comportamiento térmico de la arcilla común (materia prima de cerámicas tradicionales). Fuente: Elaborada por el autor con información de Galán et all (2006).23	23
Figura 1. 22 Mapa de ubicación de referencias del Estado del Arte Fuente: Elaborada por el autor. 25	25
Figura 2. 1 Materiales Fuente: Elaborada por el autor 32	32
Figura 3. 1 Esquema metodológico Fuente: Elaborada por el autor..... 37	37
Figura 3. 2 Esquema de preparación del RCD derivado de loseta cerámica Fuente: Elaborada por el autor. 39	39

Figura 3. 3 Losetas seleccionadas en preparación de RCD Fuente: Tomada por el autor.	40
Figura 3. 4 Material tamizado en la malla 4.75 mm	40
Figura 3. 5 Agregados finos de Río (izquierda) y de RCD (derecha) Fuente: Tomada por el autor	41
Figura 3. 6 Granulometría N° 200 y polvos excluida Fuente: Tomada por el autor.....	42
Figura 3. 7 Trabajos de laboratorio – Granulometría de agregado fino-colado Fuente: Autor.	43
Figura 3. 8 Trabajos de laboratorio – Granulometría de agregado fino (RCD) Fuente: Autor.	44
Figura 3. 9 Comparativa de los agregados finos (arena de río en la parte superior versus reciclados de RCD derivados de loseta cerámica en la parte inferior). Fuente: Elaborada por el autor.....	45
Figura 3. 10 Muestras curadas sumergidas en agua y marcadas para sus posteriores pruebas y mediciones. Fuente: Tomada por el autor.	48
Figura 3. 11 Muestras curadas de tabiques sumergidas en agua y marcadas para sus posteriores pruebas y mediciones. Fuente: Tomada por el autor.	48
Figura 3. 12 Equipo ELVEC, ejecución de la prueba y esquema de la prueba de compresión simple. Fuente: Tomadas por el autor y esquema basado en la representación esquemática de los principales ensayos mecánicos clásicos de Guede, González, & Caeiro, 2013.....	49
Figura 3. 13 Pruebas de absorción conforme norma NMX-C-037-ONNCCE-2005	50
Figura 3. 14 Vernier marca TRUPER de 15 cm	50
Figura 4. 1 Diagrama de la resistencia a la compresión de morteros en relación a la sustitución de agregados finos por RCD y relación a/c en Kg/cm ² a 7 días. Fuente: Elaborada por el autor.	52
Figura 4. 2 Ensayos con sustitución de agregados en sus distintas variables independientes.Fuente: Elaborada por el autor.....	52
Figura 4. 3 Diferencias entre morteros con r=a/c de 0.5 (izquierda) y 0.6 (derecha). Fuente: Autor.....	53
Figura 4. 4 Adherencias nula (azul) o fragilidad del agregado (rojo) RCD derivado de loseta cerámica en morteros con 100% de reemplazo de finos. Fuente: Autor.....	53
Figura 4. 5 Gráfica de la resistencia a la compresión en kg/mc ² de los tabiques elaborados con reemplazo de finos por RCD derivado de loseta cerámica en 100%. Fuente: Autor.....	54
Figura 4. 6 Pruebas de compresión a Tabiques elaborados con RCD derivado de loseta cerámica. Fuente: Autor.....	55
Figura 4. 7 Vista de las rupturas de los tabiques donde se muestran las superficies de falla y las rupturas del agregado junto al material cementante. Fuente: Autor.....	55
Figura 4. 8 (derecha) % de absorción en morteros Fuente: Elaborada por el autor	56
Figura 4. 9 (izquierda) % de absorción en tabiques Fuente: Elaborada por el autor	56
Figura 4. 10 Cubos de morteros. Fuente: Tomada por el autor.....	56
Figura 4. 11 Tabiques de mortero con RCD derivada de loseta cerámica. Fuente: Tomada por el autor.	57
Figura 4. 12 Pruebas piloto y ensayos de 50x50 mm para pruebas de disgregación Fuente: Autor.....	60
Figura 4. 13 Tabiques saturados en agua (no se disgregan). Fuente: Autor.	60
Figura 5. 1 Vista del corte del tabique con reemplazo del 100% de finos por RCD derivado de loseta cerámica Fuente: Autor	62
Figura 6. 1 Pruebas piloto Fuente: Autor.....	64

Figura 6. 2 a) Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), b) colocación de la muestra sobre el “stub o portamuestra” c) activación del acceso del material a la cámara del SEM d) esquema del SEM. Fuente: Autor y Arq. Javier Ríos Álvarez, esquema elaborado por el autor.	65
Figura 6. 3 Imágenes SEM a escala baja de 3000x y 5000x Fuente: Mtra. Edith Ponce Recinos.....	66
Figura 6. 4 Imágenes SEM a escala media de 10000x - 15000x y escala alta de 20000x Fuente: Mtra. Edith Ponce Recinos.....	67
Figura 6. 5 Campo de visión general del SEM. Fuente: Mtra. Edith Ponce Recinos.....	68
Figura 6. 6 Difractómetro de Rayos X (izquierda) y muestras de polvos de arena de río y RCD para su análisis (derecha) Fuente: Tomada por el autor	69
Figura 6. 7 Esquema de bombardeo de rayos X a la muestra Fuente: (Rigaku Corporation and its Global Subsidiaries, 2019).....	69
Figura 6. 8 Mineralogía general del RCD derivado de loseta cerámica señalando elementos de silicio y calcio. Fuente: Mtra. Edith Ponce Recinos y autor.....	70
Figura 6. 9 Componentes principales del instrumento para medirla conductividad térmica de los materiales Fuente: Elaborada por el autor basada en Lira-Cortes at all (2008)	72
Figura 6. 10 Esquema de los puntos 1 a 3 del procedimiento para realizar mediciones de conductividad térmica según Lira (2008) Fuente: Elaborado por el autor.....	72
Figura 6. 11 Medidas de la muestra RCD1 para medición de la conductividad térmica Fuente: Elaborada por el autor	73

Listado de Tablas

Tabla 1. 1 Mining and quarrying by employment size class (NACE Rev. 1.1, C, 1995-2001) Minas y canteras por clase de empleo en Europa y dado en valor de producción en millones de euros. Fuente: Elaborada por el autor con Información de Eurostat explicaciones estadísticas (hasta el 2001).	2
Tabla 1. 2 Volúmenes de producción minera 2012 – 2016 en el estado de Chiapas dada en toneladas Fuente: Elaborada por el autor con información de la Secretaria de Economía (Secretaría de Economía, 2017)	4
Tabla 1. 3 Generación de residuos por actividades económicas y hogares en el 2014 en la Unión Europea (países que generan más residuos) Fuente: Elaborada por el autor con Información de Eurostat explicaciones estadísticas.	5
Tabla 1. 4 Ciudades con mayor cantidad de escombros en m ³ Fuente: Diefendorf (1993)...	17
Tabla 1. 5 Composición química de arcillas comunes utilizadas para cerámica estructural Fuente: Elaborada por el autor con información de Galán et al. (2006).....	22
Tabla 1. 6 Estado del Arte. Resumen de investigaciones orientadas al aprovechamiento de RCD Fuente: Elaborada por el autor.....	24
Tabla 2. 1 Características de los RCD Fuente: Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA, 2010, Elaborada por el autor.....	31
Tabla 3. 1 Resumen de Metodologías utilizadas en temas relacionados al RCD Diseños de Experimentos basada en información de 3 autores para la selección de la metodología a utilizar. Fuente: Elaborada por el autor con Información de investigaciones de autores señalados.	36
Tabla 3. 2 Tabla de mezclas de mortero para elaboración de cubos de 5x5 cm definido por proyecto experimental. Fuente: Elaborada por el autor.....	38
Tabla 3. 3 Análisis químico del Cemento Portland según varios autores Fuente: Elaborada por el autor	41
Tabla 3. 4 Materiales pétreos, RCD y cemento para pruebas piloto y diseño de mezclas. Fuente: Elaborada por el autor	41
Tabla 3. 5 Resultados de agregado fino (arena) para aglomerado de concreto Fuente: Elaboración propia con la colaboración del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura Campus I	43
Tabla 3. 6 Resultados de agregado fino (RCD) para aglomerado de concreto Fuente: Elaboración propia con la colaboración del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura Campus I	44
Tabla 3. 7 Características de los agregados (arena colada de río y RCD derivado de loseta cerámica). Fuente: Elaborada por el autor.	46
Tabla 3. 8 Guía para la selección del tipo de mortero (A.1.) Norma NMX-C-486-ONNCCE-2014 Fuente: ONNCCE, S.C., 2014.....	47
Tabla 3. 9 Proporcionamiento en volumen recomendado para mortero de uso estructural (A.2.) Norma NMX-C-486-ONNCCE-2014 Fuente: ONNCCE, S.C., 2014	47
Tabla 4. 1 Resistencia media a la compresión (Kg/cm ²) a los 7 días de los ensayos con reemplazo de agregados finos por RCD derivado de loseta cerámica (y % de absorción). Fuente: Elaborada por el autor.	51
Tabla 4. 2 Resistencia media a la compresión (Kg/cm ²) a los 7 días de los ensayos con reemplazo de agregados finos por RCD derivado de loseta cerámica (y % de absorción). Fuente: Elaborada por el autor.	51

Tabla 4. 3 Resistencia a la compresión (Kg/cm ²) de tabique con reemplazo del 100% de agregados finos por RCD derivado de loseta cerámica comparado con normativas nacionales e internacionales. Fuente: Elaborada por el autor.	54
Tabla 4. 4 Promedio de dimensiones para muestras de mortero Fuente: Elaborada por el autor	57
Tabla 4. 5 Resultados reales de las dimensiones para los tabiques de concreto estructural y su cumplimiento con la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 Fuente: Elaborada por el autor.	57
Tabla 4. 6 Cumplimiento de las mezclas y ensayos de 5x5 con reemplazo de RCD con respecto a la Resistencia a la compresión de varias normas nacionales e internacionales...	58
Tabla 4. 7 Resistencia a la compresión (Kg/cm ²) de tabique con reemplazo del 100% de agregados finos por RCD derivado de loseta cerámica comparado con normativas nacionales e internacionales. Fuente: Elaborada por el autor.	58
Tabla 4. 8 Cumplimiento de las mezclas de cubos de morteros con reemplazo de RCD con respecto al % de absorción con respecto a normas nacionales e internacionales.	59
Tabla 4. 9 Cumplimiento de las mezclas en Tabiques con reemplazo de RCD con respecto al % de absorción con respecto a normas nacionales e internacionales.....	59
Tabla 6. 1 Dosificaciones de distintas empresas y organizaciones para Bloques Huecos Fuente: elaborada por el autor con información de distintas empresas.....	63
Tabla 6. 2 Dosificación de mortero para testigo Fuente: Autor	63
Tabla 6. 3 Resultados de las pruebas piloto para obtención y definición de la proporción del testigo. Fuente: Elaborada por el autor	64
Tabla 6. 4 Condiciones de medición (Measurement conditions) Fuente: SmartLab Rigaku ..	70
Tabla 6. 5 Composición química del polvo cerámico Fuente: Elaborada por el autor con información de James & Kasinatha Pandian (2018).....	71
Tabla 6. 6 Resultados de la medición de la conductividad térmica Fuente: Elaborada por el autor en base al Informe No. LNVCS-CTMS-RCD1-04/2019	73
Tabla 6. 7 Comparativa del resultado de conductividad térmica de la muestra RCD1 con muestras del CTE. Fuente: Elaborada por el autor y datos de CTE (2010).....	74

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, D. (2009). Arquitectura y construcción sostenibles: CONCEPTOS, PROBLEMAS Y ESTRATEGIAS. *DEARQ - Revista de Arquitectura / Journal of* (4), 11.
- Altadill, R., Andrés, A., Bruno, A., & Bruno, J. (2012). Reciclaje y tratamiento de residuos diversos. En X. E. Castells, *Reciclaje de residuos industriales* (págs. 1035 - 1153). Madrid: Ediciones Diaz de Santos.
- American Concrete Institute. (2001). *Manual of Concrete Practice Part 1*. Technical Documents.
- Arenas-Piedrahita, J. C., Montes-García, P., Mendoza-Rangel, J. M., López Calvo, H. Z., Valdez-Tamez, P. L., & Martínez-Reyes, J. (2016). Mechanical and durability properties of mortars prepared with untreated sugarcane bagasse ash and untreated fly ash. *Construction and Building Materials* , 105, 69 - 81.
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (1987). *Informe Nuestro Futuro Común / Informe Brundtland*. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, Naciones Unidas.
- ASTM International. (2018). Standard Specification for Portland Cement ASTM C150/C150M-18. Pennsylvania.
- Banco de México . (2011). *SISTEMA DE INFORMACIÓN ECONÓMICA*. Obtenido de <http://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=20&accion=consultarCuadro&idCuadro=CP169&locale=es>
- Barré, P., & Velde, B. (2010). Clays developed under Sequoia Gigantia and prairie soils: 150 years of soils-plant interaction in the parks of French chateaux. *Clays and Clay Minerals* , 803 - 812.
- Barrientos, F. (12 de mayo de 2016). *Blog CARTIF*. Obtenido de <https://blog.cartif.com/los-escombros-la-gestion-de-rcds-en-el-mundo/>
- Bedoya Montoya, C. M., & Dzul, L. (2015). El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana. *Ingeniería de construcción* , 30 (2), 99 -108.
- Cabral, A. B., Schalch, V., Dal Molin, D. C., Ribeiro, J. D., & Rasiah Sri Ravindrarajah. (2009). Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. *Cerâmico* , 55 (336), 448-460.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2018). Ley General para la Prevención y Gestión integral de los Residuos. 53. México.
- CEMEX. (2014). Manual del Constructor. 102.
- Chi-Sun, P., & Dixon, C. (2007). The use of recycled aggregate in concrete in Hong Kong. *Resources, Conservation and Recycling* (50), 295.
- Chica-Osorio, L. M., & Beltrán-Montoya, J. M. (2018). Demolition and construction waste characterization for potential. *DYNA*, 338-347. doi: <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.68824> *Construmatica.com*. (2009). *Construmatica*. Obtenido de <http://www.construmatica.com>
- Cruz Cruz, R. (2011). *Extracción de material pétreo en greña del río Santo Domingo, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas*.

- Cuchí, A., Wadel, G., López, F., & Sagera, A. (2007). *Guía de la eficiencia energética para Administradores de Fincas*. Barcelona, España: Fundacio Gas Natural.
- De Santos Marián, D., Monercillo Delgado, B., & García Martínez, A. (2011). *Gestión de residuos en las obras de construcción y demolición* (2a ed.). Madrid, España: Tornapunta Ediciones.
- Díaz, A. C., & de Oteiza, I. (2000). Análisis de la calidad y proceso productivo de bloques huecos de concreto de producción informal. *Tecnología y Construcción* , 26-36.
- DGDCUNAM. (2019). Nuevos concretos a partir de residuos de la construcción. *Ciencia UNAM* , 1-4.
- Diefendorf, J. M. (1993). *In the Wake of War: The Reconstruction of German Cities After World War II* (1 ed.). Oxford University Press.
- Directorio de Construcción. (2010). *e-construir.com*. Obtenido de <http://e-construir.com/materiales/aglutinantes.html>
- Duarte Ribeiro, J. L., & Schwengber ten Ca, C. (2011). *Série Monográfica Qualidade Projeto de Experimentos*. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escola de Engenharia.
- Edwards, I. (2011). *Las pirámides de Egipto*. Barcelona, España: Crítica.
- Estévez, A. T., & Triadó Tur, J. R. (2002). *Gaudí*. Madrid, España: Susaeta.
- European Thematic Network. (2000). Use of recycled materials as aggregates. *Recycling in construction Combined N.º 2* .
- Eurostat statistics explained. (2017). *Estadísticas sobre residuos*. Obtenido de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/e
- Eurostat statistics explained. (2018). *Eurostat*. Obtenido de Mining and quarrying by employment size class: https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/sbs_sc_2d_mi95
- Galán Huerto, E., & Aparicio Fernandez, P. (2006). Materias primas para la industria cerámica. En M. García del Cura, & J. Cañaveras, *Utilización de las Rocas y Minerales Industriales* (págs. 31-48). Alicante, España: Sociedad Española de Mineralogía.
- García Escudero, M. (2011). El azulejo y su relación con el México colonial, en Puebla de los Ángeles. *Gazeta de Antropología* .
- German Historical Institute. (1997). *STUNDE NULL: The End and the Beginning Fifty Years Ago*. German Historical Institute. Washington, DC: Geoffrey J. Giles .
- Global Environmental Alert Service GEAS. (2014). *Sand, rarer than one thinks*. United Nations Environment Programme UNEP.
- González Martínez, A. C. (2001). Costos y beneficios ambientales del reciclaje en México. *Gaceta ecológica* (58), 11.
- González, R., & Aguilar, J. (2004). Patología estructural en viviendas de interés social de mampostería debida a paradigmas constructivos en el estado de Chiapas. *Memoria en extenso del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*. Acapulco, Guerrero.

- Guede, D., González, P., & Caeiro, J. R. (2013). Biomecánica y hueso (I): Conceptos básicos y ensayos mecánicos clásicos. *SciELO*.
- Hernández Moreno, S. (2008). El Diseño Sustentable como Herramienta para el Desarrollo de la Arquitectura y Edificación en México. *Acta Universitaria*, 18 (2), 7.
- Hondurasisgreat.org. (2016). *Honduras is great*. Obtenido de <https://hondurasisgreat.org/iglesia-construida-piedras-templo-maya/>
- Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a Waste : A Global Review of Solid Waste Management*. Washington: World Bank.
- INECC, Semarnat. (2012). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. México.
- Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA. (2010). *Catálogo de Elementos Constructivos del CTE*. España: Club Universitario.
- James, J., & Kasinatha Pandian, P. (2018). Strength and microstructure of micro ceramic dust admixed lime stabilized soil. *Revista de la Construcción*, 17 (1), 5 - 22.
- Jiménez Montoya, P., García Meseguer, A., & Morán Cabré, F. (2000). Cementos. En *Hormigón Armado* (pág. 21). Barcelona: Gustavo Gili.
- Kinney, D. (2006). The concept of Spolia. En C. Rudolph (Ed.), *Companion to Medieval Art: Romanesque and Gothic in Northern Europe*, Williston (págs. 233 - 252).
- Lira-Cortés, L., González Rodríguez, O., & Méndez-Lago, E. (2008). Medición de la Conductividad Térmica de Algunos Materiales Utilizados en Edificaciones. *Simposio de Metrología 2008*, 5.
- López Calvo, H. Z., Montes García, P., Alonso Guzmán, E. M., Martínez Molina, W., Bremner, T. W., & Thomas, M. D. (2017). Effects of corrosion inhibiting admixtures and supplementary cementitious materials combinations on the strength and certain durability properties of HPC. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44 (11), 918 - 926.
- López-Calvo, H. Z., Montes-García, P., Thomas, M. D., & Bremner, T. W. (2012). Effectiveness of CNI in slabs with a construction joint in a marine environment. *Magazine of Concrete Research*, 6, 307 - 316.
- Meadows, D., Randers, J., & Meadows, D. (1992). *Más allá de los límites del crecimiento (Beyond the Limits)*. Chelsea Green Publishing.
- Mercante, I. T. (2007). Caracterización de residuos de la construcción. Aplicación de los índices de generación a la gestión ambiental. *UCES*, 86 - 109.
- Morel, A., Gallias, J., Bauchard, M., Mana, F., & Rousseau, E. (1994). *Demolition and reuse of concrete and masonry*. (E. K. Lauritzen, Ed.) Odense, Denmark.
- Morillón, D. G. (2004). *Atlas del Bioclima de México*. México Distrito Federal: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de ingeniería.
- ONNCCE. (2012). NMX-C-404-ONNCCE-2012. *INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - MAMPOSTERÍA - BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES PARA USO ESTRUCTURAL - ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE ENSAYO*. México.

ONNCCE, S.C. (2004). NMX-C-111-ONNCCE-2004. *INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN -AGREGADOS PARA CONCRETO HIDRÁULICO-ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA* .

ONNCCE, S.C. (2014). NMX-C-314-ONNCCE-2014. *Norma* , 14. D.F., México.

ONNCCE, S.C. (2014). NMX-C-486-ONNCCE-2014. México.

Ordaz Tamayo, M. (2004). Arquitectura religiosa virreinal de Yucatán. El conocimiento histórico-técnico de las iglesias con estructura espacial conventual. El conocimiento de la arquitectura histórica como condicionante de la restauración.

Pacheco Bustos, C. A., Fuentes Pumarejo, L. G., Sánchez Cotte, É. H., & Rondón Quintana, H. A. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión. *Ingeniería y Desarrollo* , 35 (2), 24.

Panel Internacional de Recursos IRP. (2016). *Boletín ONU*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Pierre-Claude, A., & Neville, A. (2003). How the Water-Cement ratio affects concrete strength. *Concrete International*, 51-58.

Rangel Martínez, Y. (2012). Procesos unitarios de recuperación de residuos de construcción, demolición, y jales de la minería: desarrollo de agregados pétreos. 96. Hidalgo, México.

Rigaku Corporation and its Global Subsidiaries. (2019). *Rigaku*. Obtenido de <https://www.rigaku.com/en/products/xrd>

Real Academia Española. (2017). Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=byF4Mc7>

Real Academia Española. (2017). Recuperado el 18 de Septiembre de 2017, de <http://dle.rae.es/?id=DldD5zV>

Real Academia Española. (2017). Recuperado el 13 de Septiembre de 2017, de <http://dle.rae.es/?id=7lsKMtR>

Real Academia Española. (2017). Recuperado el 12 de Septiembre de 2017, de <http://dle.rae.es/?id=KYIGBW2>

Real Academia Española. (2017). *Diccionario de la Lengua Española*. Recuperado el 26 de noviembre de 2017, de <http://dle.rae.es/?id=NT2erac>

Reig, L., Mitsuchi Tashima, M., Soriano, L., & Borrachero, M. V. (2013). Alkaline Activation of Ceramic Waste Materials. *RiuNet* .

Rosas Chaves, A. (2014). *Mobiliario Urbano prefabricado en Concreto*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Sachs, J. D. (2014). *La Era del Desarrollo Sostenible*. Nueva York: Columbia University Press.

Sakai, K. (2010). EU, Japón y Europa reciclan los desperdicios del concreto. *Obras* (446).

Salamanca Correa, R. (2001). La tecnología de los morteros. *Ciencia e Ingeniería* (11), 41 - 48.

Saliné, M., & Freixa, M. (2018). *Gaudi y el Trencadis Modernista*. España: Triangle Postals.

Sanjuán Fernández, C. (2012). *Patología, Rehabilitación y Construcción*. Obtenido de <https://www.patologiasconstruccion.net/2012/12/la-microscopia-electronica-de-barrido-sem-i-concepto-y-usos/>

SCT. (2002). Materiales para concreto hidráulico. En SCT, *CMT Características de los materiales* (pág. 20). México.

Secretaría de Economía. (2017). *Panorama Minero del Estado de Chiapas*. Servicio Geológico Mexicano.

SEMARNAT. (2016). *Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales*. Obtenido de Indicadores de Crecimiento Verde: https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/indicadores_verdes16/indicadores/02_producto/actividad/2.1.1.html

Serrano Yuste, P. (2018). *Certificados Energeticos.com*. Obtenido de Residuos de construcción y demolición reciclados para su reutilización: <http://www.certificadosenergeticos.com/residuos-de-construccion-y-demolicion-reciclados-reutilizacion>

Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. (2017). *Informe de Medio Ambiente*. Ambiental.

Skalny, J., & Mindess, S. (1998). *Materials Science of Concrete V*. Ohio, E.U.A.: The American Ceramic Society.

Tamayo, L. (2017). *La locura ecocida Ecosofía psicoanalítica*. Ciudad de México, México: Fontamara.

Tavakoli, D., Heidari, A., & Karimian, M. (2013). Properties of concretes produced with waste ceramic tile aggregate. *Asian Journal of Civil Engineering*, 14 (3), 369 - 382.

Utrero Agudo, M., & Sastre De Diego, I. (2012). Reutilizando materiales en las construcciones de los siglos VII-X ¿Una posibilidad o una necesidad? *Anales de Historia del Arte*, 22 (Especial (II)), 309 - 323.

Vargas Robles, L. (2007). Uso de fibras de papel periódico, cal hidratada y alumbre,. 139. Colima, México.

Yanez Rizo, E. (2015). *INAH GOB.MX*. Obtenido de <https://inah.gob.mx/boletines/532-especialista-del-inah-recupera-100-anos-de-historia-de-la-talavera-poblana>