



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

FACULTAD DE ARQUITECTURA

CAMPUS I



MAESTRÍA EN ARQUITECTURA Y URBANISMO

**EVALUACIÓN MECÁNICA DE MORTEROS
ELABORADOS CON RESIDUOS DE CONCRETO EN
TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN ARQUITECTURA Y URBANISMO**

PRESENTA:

MAURICIO ALBERTO HIDALGO JIMÉNEZ C110045

DIRECTOR DE TESIS:

DR. LORENZO FRANCO ESCAMIROSA MONTALVO

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

20 DE OCTUBRE 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA
CAMPUS I



MAESTRÍA EN ARQUITECTURA Y URBANISMO

**EVALUACIÓN MECÁNICA DE MORTEROS ELABORADOS CON RESIDUOS
DE CONCRETO EN TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

PRESENTA: MAURICIO ALBERTO HIDALGO JIMÉNEZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. LORENZO FRANCO ESCAMIROSA MONTALVO

SINODALES:

PRESIDENTE: DR. LORENZO FRANCO ESCAMIROSA MONTALVO

SECRETARIO: MTRA. NGUYEN MOLINA NARVAEZ

VOCAL: MTRO. SERGIO NARAIN ZEBADUA VELASCO

SUPLENTE: DR EDDY GONZALEZ GARCIA

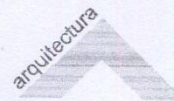
MTRA. MARISSA MONSERRAT IBARRA GALLARDO

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

20 DE OCTUBRE 2020



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



TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS;
 05 DE NOVIEMBRE DE 2019.



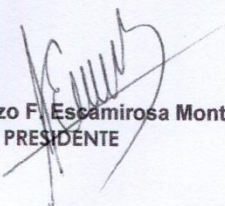
MTRO. JOSÉ LUIS JIMÉNEZ ALBORES
 Director de la Facultad de Arquitectura
 UNACH
PRESENTE

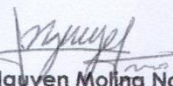
Con base en los acuerdos obtenidos en la Sesión Ordinaria del Comité de Investigación y Posgrado de esta Facultad, efectuada el día 04 de noviembre del presente año, donde se nos asigna como jurado de Examen de Grado del Proyecto Terminal de la Maestría denominado: **"Evaluación mecánica de morteros elaborados con residuos de concreto en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas"**, que para obtener el Grado de Maestro en Arquitectura y Urbanismo presenta el **C. Mauricio Alberto Hidalgo Jiménez**, 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.

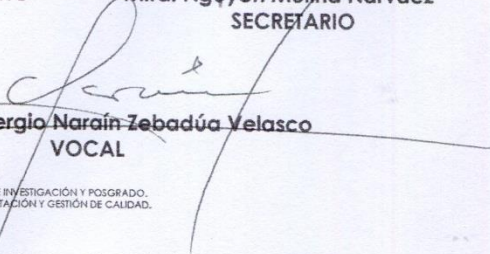
Lo anterior es con la finalidad de que se realicen los trámites y el examen correspondiente.

ATENTAMENTE

"Por la Conciencia de la Necesidad de Servir"


DR. Lorenzo F. Escamirosa Montalvo
PRESIDENTE


Mtra. Nguyen Molina Narváez
SECRETARIO


Mtro. Sergio Narain Zebadúa Velasco
VOCAL

C.C.P. DRA. TERESA DEL ROSARIO ARGÜELLO MÉNDEZ, COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO.
 C.C.P. DR. JOSÉ FRANCISCO GÓMEZ COUTIÑO, JEFE DEL ÁREA DE ACREDITACIÓN Y GESTIÓN DE CALIDAD.
 C.C.P. Archivo/Multimedia
 TRAN/Give

*Boulevard Belisario Domínguez, Km. 1081, Calzada a Rectoría Sin Número.
 Tercer 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) Mauricio Alberto Hidalgo Jiménez,
Autor (a) de la tesis bajo el título de "Evaluación mecánica de
morteros elaborados con residuos de concreto en
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas,"
presentada y aprobada en el año 2020 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 (SIBI-UNACH) 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 de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 29 días del mes de septiembre del año 2020.


Mauricio Alberto Hidalgo Jiménez
Nombre y firma del Tesista o Tesistas

Agradecimientos:

A mis padres, Martín Hidalgo y Marcelina Jiménez, por la guía constante, el apoyo y soporte, por ser en primera línea de batalla la fuerza para caminar como hombre, ciudadano y profesionista.

A mis catedráticos, por compartir sus conocimientos conmigo, por formarme y por la disposición y trabajo que han aportado a mi crecimiento profesional.

A mi alma mater, por ser la cuna por excelencia que ha formado a grandes ciudadanos activos, creadores del futuro. ¡Gracias! Por todas las veces que con disposición y empeño me alentaron al estudio y ejercicio de mi profesión haciendo uso de las instalaciones.

A mis compañeros de clase, por las risas, por compartir juntos cientos de historias y un relevante crecimiento profesional.

A mi director de tesis Dr. Lorenzo Escamiroso por el acompañamiento durante la creación de ésta tesis que será sin duda prueba fehaciente que perdurará dentro de los conocimientos y desarrollo de las generaciones que están por llegar.

INDICE

INTRODUCCIÓN	8
PROBLEMÁTICA	10
ANTECEDENTES	18
JUSTIFICACIÓN.....	22
OBJETIVO GENERAL	24
Objetivos específicos.....	24
HIPÓTESIS.....	24
METODOLOGÍA.....	25
ESTADO DEL ARTE.....	26
CAPÍTULO 1. ANÁLISIS DE REFERENTES	33
1.1 Marco conceptual	33
1.1.1 Morteros	33
1.1.2 Residuos de la construcción y demolición	35
1.2 Marco Teórico	36
1.2.1 Concepto de desarrollo sustentable.....	36
1.2.2 Construcción sostenible.....	37
1.2.3 Reciclaje y reúso de residuos de construcción y demolición como técnica de la construcción sostenible	38
1.2.4 Tratamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD).....	40
1.3 Marco normativo	42
CAPÍTULO 2. CASO DE ESTUDIO: TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.....	44
2.1 Características del sitio.....	44
2.2 Morteros en Tuxtla Gutiérrez	45
2.3 Residuos de construcción y demolición en Tuxtla Gutiérrez.....	48
2.3.1 Situación actual	48
CAPÍTULO 3. MATERIA PRIMA.....	50
3.1 Agregados	50
3.1.1 Método de obtención de agregados de residuos de construcción y demolición	50
3.1.2 Procedencia de los materiales	50
3.1.2 Tratamiento	55
3.1.3 Caracterización de los agregados.....	58

3.2 Aglomerantes.....	60
3.2.1 Cemento para albañilería.....	60
3.2.2 Cemento Portland compuesto (cemento gris).....	61
CAPÍTULO 4. ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE MORTERO.....	62
4.1 Dosificación.....	62
4.2 Mezclado	65
CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA.....	66
5.1 Resistencia a la compresión.....	66
5.2 Resultados de las pruebas de compresión	68
5.3 Análisis de los resultados	69
CONCLUSIONES.....	81
BIBLIOGRAFÍA.....	82
ANEXOS	88

INTRODUCCIÓN

La extracción de materia prima y los procesos de transformación para la obtención de cemento, así como otros productos utilizados en los procesos constructivos de las edificaciones y obras en general, son inconvenientes que tiene la industria de la construcción en el mundo, debido al alto impacto ambiental que ocasiona, tanto la explotación de las canteras o bancos de materiales como la generación de residuos de construcción y demolición.

En México se estima que se producen anualmente más de 12 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición (Granell, 2014), que equivale a 0.09 toneladas por año por habitante (Aguilar, Neftalí, & Gómez, 2017), y en el caso del estado de Chiapas, con base en las cifras de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, en el año 2011 se produjeron 147,474.41 toneladas (CMIC, 2013).

En la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas, de acuerdo con el estudio realizados por Sánchez, *et al.*, (2018), en 3 sitios de disposición de residuos de construcción y demolición (RCD), seleccionados por su homogeneidad en la ciudad, 73% de estos residuos son productos de concreto. Los sitios de RCD se localizan en todo lo largo y ancho de la ciudad, arbitrariamente definidos por los choferes de los vehículos de transporte, con el consentimiento o no de los constructores. Estos residuos generan problemas que alteran las condiciones naturales del lugar y su entorno; por un lado, ocasionan pérdida de la capa vegetal, dispersión de partículas de polvo, taponaduras de los drenes pluviales, obstrucción e inestabilidad en terraplenes o laderas de la vía pública, degradación de la imagen urbana, etc.; y por otro lado, propician la creación de sitios de disposición de residuos sólidos domiciliarios, con alto contenido de materia orgánica, convirtiéndose en verdaderos focos de infección que afectan la salud pública, debido a que la descomposición natural de los productos orgánicos existentes, atraen y reproducen fauna nociva, generan olores fétidos y lixiviados que contaminan los suelos y cuerpos de agua.

A consecuencia de los impactos ambientales negativos antes señalados, se considera necesario controlar y regular la disposición de los RCD en la zona urbana de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez; asimismo, se deben buscar soluciones dirigidas a utilizar los residuos de concreto y emplearlos como agregados en la elaboración de nuevos concretos. Sin duda, el uso de concretos reciclados para nuevos proyectos de edificios u obras en general, disminuiría los efectos ambientales que ocasionan la disposición de estos residuos en lugares inadecuados; también, se contribuiría a reducir los procesos de explotación para la producción de concreto, que tiene altos costos ambientales por tratarse de recursos no renovables. El reciclaje y reúso de los RCD son técnicas que cumplen con los principios de la construcción sostenible (Kibert, 1994). Los beneficios son múltiples y variados, entre los cuales, destacan: la conservación de recursos, la reducción de los residuos a partir del reciclado, la reutilización y la renovación de insumos para la construcción. Lo anterior, son consideraciones positivas en la gestión del ciclo de vida de los materiales utilizados en las obras, la reducción de consumo de energía y la disminución de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), entre otros.

En el presente trabajo de investigación, se aborda el estudio de la elaboración de mortero con cemento y agregados provenientes de residuos de concreto generados en la construcción y demolición de obras en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Para ello, se realizaron diversos ensayos experimentales en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, con el propósito de obtener las características y propiedades mecánicas óptimas de los nuevos morteros. Los resultados demuestran que la resistencia a la compresión obtenida, cumple con lo establecido en las normas vigentes (NMX-C-486-ONNCCE-2014 y NTC, 2017), por lo cual, se reconoce que el mortero elaborado con residuos de construcción y demolición (RCD), es apto para utilizarse en la construcción de estructuras de mampostería, recubrimientos o aplanados, entre otras aplicaciones.

PROBLEMÁTICA

La problemática del trabajo de investigación, se relaciona con los impactos ocasionados por los residuos de construcción y demolición (RCD); éstos son inconvenientes del sector de la construcción, lo cual requiere atención urgente, ya que el impacto que tienen en el medio ambiente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez (Gtz), así como en otras ciudades del estado de Chiapas, de la región y del país, es muy significativo.

En las obras de construcción y demolición de la ciudad, no existe el proceso de separación y clasificación de los residuos. Por lo regular, en las obras se generan montículos con residuos muy diversos (ver imagen 1) y, debido a la nula separación de éstos, se dificulta el aprovechamiento para su reutilización o reciclaje.

Imagen 1. Residuo de construcción y demolición (RCD) sin separación. Ubicación Plaza Las Américas en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas



Fuente: Elaborada por el autor

Para la eliminación de estos materiales (RCD), en las obras se contratan servicios de desalojo mediante, que consiste en utilizar vehículos tipo volteo, los cuales son cargados

de manera manual o mecánica (ver imágenes 2 y3). Esta actividad es costosa y, además, el consumo energético es elevado.

Imagen 2. Carga manual de RCD en camiones en colonia Terán en Tuxtla Gtz.



Fuente: Elaborada por el autor

Imagen 3. Carga mediante medios mecánicos de RCD a camiones.



Fuente: Elaborada por el autor

El tipo de transporte de los RCD, hasta el destino final estos materiales, se realiza por camiones de carga pesada, que transitan en las calles primarias y secundarias de la ciudad, lo cual representa incremento del flujo vehicular y aumento en la contaminación a la atmosfera, por el consumo de combustibles y las emisiones de gases contaminantes.

Imagen 1. Contaminación a la atmosfera por transporte de RCD.



Fuente: Elaborada por el autor

Las leyes y reglamentaciones específicas, que regulen y controlen el manejo de los RCD, a saber, recolección, transporte y disposición final, son inexistentes en Tuxtla Gutiérrez, por tanto, no existen sitios adecuados para el depósito de los RCD y, en la mayoría de los casos, los residuos del sector de la construcción tienen una disposición final inapropiada; es decir, se realiza en tiraderos clandestinos a cielo abierto, en terrenos baldíos, barrancas, bordes de vialidades poco transitadas, cauces de arroyos, etc.

Es muy notorio como estos espacios de disposición final inadecuada, han crecido y modificado el entorno de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez en muy poco tiempo, tal y como se puede observar en las imágenes 5 y 6.

Imagen 5. Terreno baldío en el año 2016, colonia Renovación en Tuxtla Gutiérrez



Fuente: Imagen obtenida en Google earth 2019.

Imagen 2. Mismo terreno de la ilustración 5 en el año 2018.



Fuente: Elaborada por el autor

Los RCD que no se manejan adecuadamente, ocasionan vulnerabilidad urbana, ya que producen inestabilidad en los terrenos en los cuales son depositados, principalmente en terrenos con pendiente, como se observa en la imagen 7.

Imagen 3. Inestabilidad de terreno por RCD ubicado en Libramiento Nte. y 5ª Pte. Tuxtla Gutiérrez, 2018.



Fuente: Elaborada por el autor

Imagen 4. RCD en las calles de la col. Terán, Tuxtla Gutiérrez, 2019.



Fuente: Elaborada por el autor

De igual forma, cuando son depositados en la intemperie, como se observa en la imagen 8, y terrenos a cielo abierto, los RCD son arrastrados por aguas pluviales alterando los drenes naturales y artificiales (ver imágenes 9 y 10), y en el peor de los casos, causan taponaduras y provocan inundaciones en las áreas relacionadas.

Imagen 5. Limpieza de la obstrucción por escombros del río Sabinal.



Fuente: Protección Civil, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 2017

Imagen 6. Desazolve de alcantarillas por trabajadores municipales, 2019.



Fuente: Elaborada por el autor

Otro efecto del mal manejo de los RCD, es la degradación a la imagen y al entorno urbano (ver imagen 11), motivando a que algunos ciudadanos también ocupen estos espacios para la disposición de residuos sólidos domiciliarios (ver imagen 12), lo cual, genera un sitio propicio para la generación y reproducción de fauna nociva, con los consecuentes problemas sanitarios que lo anterior provoca.

Imagen 7. Degradación a la imagen urbana por terreno ocupado por RCD.
Carretera Internacional, Tuxtla Gutiérrez, 2019.



Fuente: Elaborada por el autor

Imagen 8. Espacios de Tuxtla Gutiérrez, ocupados por escombros y residuos domiciliarios, 2019.



Fuente: Elaborada por el autor

Los problemas antes descritos, coinciden con lo señalado por Yeang (1999), en relación a que los RCD producen contaminación de suelos y de aguas subterráneas y superficiales, así como la degradación de la calidad del paisaje por la ocupación del suelo por estos materiales, con la consecuente pérdida de la capa vegetal, destrucción de la vegetación y la eventual disminución de la fauna y la biodiversidad en general (ver imagen 13).

Imagen 9. Ocupación y contaminación de suelos por RCD en la colonia FETSE, Tuxtla Gutiérrez, 2017.



Fuente: Elaborada por el autor

De acuerdo con Hernández D. *et al* (2008), la mayoría de la población, así como los transportistas, no identifican la dimensión de la problemática que causa el mal manejo de los residuos de construcción y demolición, por su parte los propietarios de los tiraderos clandestinos únicamente ven el beneficio por el cobro por el ingreso de residuos en sus terrenos. En Tuxtla Gutiérrez, se cobra entre 30 o 40 pesos por descarga; sin embargo, en algunos casos la práctica del bote ilegal llega al extremo de provocar desvalorización inmobiliaria, por la pérdida de terrenos y áreas desarrollables que se vuelven inservibles para su explotación debido a los elevados costos de recuperación (Acosta D., 2002).

ANTECEDENTES

La construcción siempre ha sido una necesidad para la humanidad, se remonta desde tiempos lejanos, evolucionando a cada momento. Según el INEGI, este sector es muy importante en el desarrollo de un país, ya que proporciona elementos de bienestar básicos en una sociedad al construir puentes, carreteras, puertos, vías férreas, presas, plantas generadoras de energía eléctrica, industrias, así como viviendas, escuelas, hospitales, y lugares para el esparcimiento y la diversión como los cines, parques, hoteles, teatros, entre otros. El sector de la construcción utiliza insumos provenientes de otras industrias como el acero, hierro, cemento, arena, cal, madera, aluminio, etc. Por ello, es uno de los principales motores de la economía del país, ya que beneficia a 66 ramas de actividad a nivel nacional, sin embargo, estos insumos consumen grandes cantidades de materias primas extraídas directamente de la naturaleza ocasionando varias fuentes de contaminación que modifican el entorno de manera negativa.

Ante los problemas que genera el sector de la construcción, surgen las necesidades por mantener un equilibrio entre sus actividades y el medio ambiente, por ello, durante las últimas décadas han destacado técnicas de construcción sostenible tales como construcción con tierra (BTC, tapial, cob, adobe, etc.), construcciones con materiales reciclados o materiales renovables, construcciones con uso de energías limpias, entre otros.

Para contrarrestar los problemas que se derivan de los residuos de construcción y demolición, han destacado estrategias de reciclaje y reúso de estos materiales para emplearse en nuevos proyectos. Estas técnicas han tomado gran importancia a nivel internacional, debido a que cuentan con un alto valor ambiental puesto que es una manera de minimizar la generación de residuos y también, sustituyen a los agregados tradicionales provenientes de reservas naturales, minimizando así su extracción. Algunas de las aplicaciones de RCD reciclados son para elaboración de mezclas de concreto, rellenos, bases y sub-bases de vialidades, estabilización de suelos, entre otros.

Países de la Unión Europea, Estados Unidos, Emiratos Árabes Unidos y Australia son países donde destacan técnicas de recuperación de desperdicios de construcción a gran

escala y desde hace varios años. En 1990, dada la incidencia en la generación de los RCD, la Comisión Europea los consignó como un flujo preferente para estudiar su gestión y recabar la máxima minimización de los mismos, así como su valorización. A continuación, se muestra en la tabla 1, las cantidades de producción de RCD, los porcentajes correspondientes a la producción de concreto, los porcentajes de reciclaje y el número de plantas de que disponen algunos de los países miembros de la Unión Europea.

Tabla 1. Generación de RCD y número de plantas de países de la Unión Europea.

Países miembros	Producción. Residuos C&D (x10 ³ T)	% de residuos de concreto.	% reciclado como agregado para concreto (sobre el total de Residuos C&D)	No. de plantas
Holanda	15,400	45	40	60
España	7,200	20	0	6
Alemania	74,000	34	45	440
Dinamarca	4,600	40	12.5	30
Reino unido	60,000	50	2.5	190
Bélgica	9,500	42	16	65
Francia	28,000	40	4	80
Italia	14,100	50	4	170

Fuente: *European Demolition Association* (1992).

En Alemania, en el año de 1984, el uso de los RCD tomó tal importancia que se creó la “Asociación de empresas alemanas para el reciclaje de materiales de construcción”, un grupo de empresas dedicadas a la producción de materiales de construcción reciclados.

El material reciclado fue utilizado en la construcción de caminos tipo III-V; caminos no clasificados y como agregado para las superficies de áreas pavimentadas. En 1999, se usaron para la construcción de grandes bloques de concreto como elementos decorativos en el Centro de Exposiciones de Magdeburg. En 1993-1994 para la construcción de la sede de la Fundación Alemana para el Medioambiente (Deutsche Bundesstiftung Umwelt), se empleó agregado reciclado en la construcción de los elementos estructurales de concreto, realizándose una estricta selección y exhaustivo control de calidad.

El gobierno de España elaboró un Plan estratégico para el periodo 2001-2006. Los objetivos fueron la valorización para este tipo de residuos, así como el desarrollo de la inversión en infraestructura necesaria para llevarlo a cabo. Actualmente existen seis plantas de reciclaje de RCD en España.

Las aplicaciones de los agregados reciclados en España, dependen de las características del origen del material:

Tipo 1.- Cerámicos >90% Material de relleno, pistas forestales, jardinería, cubiertas ecológicas, aplicaciones deportivas (tenis).

Tipo 2.- Concreto >90% Materiales de relleno y recubrimiento, pistas forestales, materiales para bases y subbases, agregados para morteros, agregados para concretos no estructurales, agregados para concretos estructurales.

Tipo 3.- Pétreos >90% Material de relleno, materiales para muros y aplicaciones acústicas.

En 1998, la organización estadounidense Environmental Protection Agency (EPA) llevó a cabo la primera caracterización de RCD en los Estados Unidos. No obstante, para noviembre de 2003, se dió a conocer un estudio de caracterización de los RCD, en el cual se observó que el mayor porcentaje, actualmente, lo constituye el concreto con un 40%, mientras que los plásticos están en el rango del 1 al 5%. Una de las formas de recuperación de los RCD usado en Estados Unidos, es la demolición selectiva o “deconstrucción”, que es el proceso de desmantelamiento o remoción selectiva de

materiales de edificios destinados a su demolición. Mediante la aplicación de este método es posible prevenir la contaminación de los materiales valorizables que se pueden recuperar, también, es posible recuperar cerca del 76% en peso y 70% en volumen de materiales (Cortinas, 2007).

A nivel nacional, en el año 2004, en la ciudad de México, fue fundada la empresa “Concretos Reciclados” que está dedicada al reciclaje de los residuos de la construcción. Cuentan con procesos de acopio y trituración con una capacidad de producción de 2,000 toneladas diarias. Los materiales reciclados productos de esta empresa han sido usados para la construcción de plataformas, fabricación de pilotes, relleno en zapatas, sub-bases y bases tenido intervención en proyectos importantes como la línea 12 del metro, parque bicentenario, delegación Tlalpan, distribuidor vial calle 7 (Reciclados, 2017).

Por otra parte, en el año 2013, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), publicó la NOM-161-SEMARNAT-2011, en la cual se contempla como una obligación para los constructores que generen más de 80 m³ de residuos en cada una de sus obras, la formulación y desarrollo de un plan de manejo. A partir de esta norma en el año 2014, la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) elaboró el Plan de Manejo de Residuos de la Construcción y la Demolición, cuyo objetivo general es el siguiente: Desarrollar un documento para su aplicación en la industria, que promueva la construcción sustentable, minimizando la generación de RCD y maximizando su aprovechamiento, bajo el concepto de corresponsabilidad entre los tres órdenes de gobierno y los diferentes actores que participan en la cadena de valor (CMIC, 2014).

En Tuxtla Gutiérrez aún no se han implementado técnicas de reciclaje de residuos de construcción y demolición, sin embargo, se han hecho investigaciones a nivel académico destacando el trabajo denominado “Problemática de los residuos de construcción y demolición en sistemas constructivos industrializados y de autoconstrucción en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas” de Sánchez V. (2017), en donde se realiza una caracterización de los RCD en diferentes puntos de la ciudad. También, destaca la investigación de Alegría J. (2010) con el tema “Elaboración de blocks con residuos de construcción obtenidos en Tuxtla Gutiérrez”, en el cual se estudian blocks elaborados con RCD superando en rubros de compresión simple a blocks testigo.

JUSTIFICACIÓN

Durante las últimas décadas, la zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez ha crecido de manera acelerada. Esta tendencia advierte el probable crecimiento exponencial en espacio y población, causa por la cual, la infraestructura urbana será cada vez más indispensable y, por ende, la generación de residuos sólidos de construcción continuará como una actividad imprescindible acompañada de los impactos que provocan. Es por ello que se deben tomar medidas e implementar técnicas para mantener un equilibrio con la edificación y el entorno.

En Tuxtla Gutiérrez son pocas las técnicas sobre el reciclaje de residuos de construcción y demolición, acciones que es de carácter urgente implementar, ya que la mayoría de estos materiales tienen posibilidad de ser reutilizados, sin embargo, están siendo desperdiciados.

Para un correcto aprovechamiento de los RCD, se debe encontrar y comprobar la aplicación adecuada de cada uno de estos residuos, de acuerdo con su potencial, usándose como material de relleno hasta como agregados para nuevas mezclas, con base en el plan de manejo de residuos de construcción (2014) elaborado por la CMIC, que se especifica que cada residuo puede aprovecharse para diferentes usos, dependiendo su origen y categoría. Para el caso de Tuxtla Gutiérrez, están presentes todas las categorías y éstas tienen importancia de estudio.

Esta investigación se limitará al estudio de los residuos provenientes de la categoría de concreto, para usarse como materia prima para la fabricación de nuevos morteros.

¿Por qué residuos de la categoría de concreto?

Debida a que los trabajos de investigación realizados por Sánchez V. (2018), en 3 vertederos predominantes de RCD en Tuxtla Gutiérrez, los residuos de concreto generados, corresponden al 73% del total de los residuos sólidos de construcción. Estos materiales por su composición tienen el potencial para ser recuperados, son materiales que pueden ser triturados y reutilizados como agregado en nuevos proyectos (Klee, 2012).

El concreto está presente en prácticamente la totalidad de las obras actuales de la región, y es de los elementos que cuentan con un porcentaje alto de desperdicio.

¿Por qué elaborar morteros con residuos de concreto?

La razón de evaluar las propiedades mecánicas del elemento propuesto para su implementación en obras nuevas son las siguientes:

1. En la mayoría de los casos, el mortero usado en las edificaciones no compromete la seguridad de la estructura, lo cual genera confianza al usuario de implementar materiales reciclados.

2. De todos los elementos de mezclas cemento-arena, el mortero es el que requiere menor capacidad de carga a la compresión (mínimo 60 kg/cm²; NTC, 2019), por lo que es más factible llegar a esos resultados con materiales reciclados.

3. El mortero es un elemento con uso imprescindible en las edificaciones actuales, tiene múltiples aplicaciones como son: la elaboración de plantillas para cimentaciones, estabilización de taludes, elaboración y/o nivelación de firmes, pegado de piezas de mampostería (bloques, piedra, ladrillos), pegado de losetas, elaboración de aplanados, rellenos, enjarres y más.

4. Implementar la propuesta mencionada, tiene un alto valor ambiental debido a que no sólo se reducen los impactos generados por su vertido inapropiado, sino también, es considerable el beneficio que se obtendría en la reducción, en cierta medida, de la explotación de arenas naturales; además, al reutilizar estos materiales, también existe una posibilidad en la reducción de costos económicos al evitarse procesos de extracción y transporte, con los problemas que acarrearán tales como consumo de energía y producción de gases por el uso de maquinarias.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las propiedades mecánicas de los morteros elaborados con residuos de concreto generados en construcciones y demoliciones de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, con base en las normas y estándares de calidad vigentes, para la certeza, seguridad y factibilidad del uso de este mortero en los trabajos de albañilería.

Objetivos específicos

- Identificar las características de los residuos de concreto generados en las construcciones y demoliciones en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Elaborar morteros de albañilería cuya materia prima sea obtenida de los residuos de concreto.
- Realizar ensayos de laboratorio a las probetas de mortero, para determinar sus propiedades mecánicas, con base en las especificaciones de la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014.
- Determinar las propuestas y recomendaciones de uso, proceso y dosificación de los morteros elaborados, para los diversos trabajos de albañilería, de acuerdo con los análisis y la discusión de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

HIPÓTESIS

Las propiedades mecánicas de los morteros elaborados con residuos de concreto en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, cumplen con los estándares de calidad vigentes de acuerdo con las especificaciones de la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014, comprobando su factibilidad de su uso en los trabajos de albañilería.

METODOLOGÍA

En la ejecución de esta investigación, se utiliza un enfoque cuantitativo, a partir de la aplicación de la siguiente metodología experimental:

a) Obtención de materias primas.

Las materias primas utilizadas son provenientes de residuos de concreto con diferentes orígenes. Para el proceso en la obtención y selección de estos residuos, se tomaron como referencia las especificaciones del capítulo 029 del libro 4 de las normas de construcción de la administración pública del distrito federal (2009), el cual especifica la calidad requerida de los residuos de construcción reciclados, así también, la norma NADF-007-RNAT-2013, que establece la clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción y demolición.

b) Tratamiento y caracterización de materias primas.

Una vez obtenidas las materias primas, fueron procesadas de tal manera que se garantizara la obtención de agregados finos guiándose de los criterios de granulometría establecidos por la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014, la cual especifica las cualidades que deben tener los agregados para usarse en la elaboración de mezclas para morteros.

c) Dosificación y elaboración de morteros.

La dosificación y elaboración de los morteros, se realizó de acuerdo a la NMX-C-061-ONNCCE-2015; esta norma establece el procedimiento para la selección de materiales, equipo, preparación de muestras, ejecución de ensayos, cálculo y precisión para la determinación de la resistencia a la compresión en cubos de concreto de 2 pulgadas por lado.

d) Caracterización mecánica.

La caracterización mecánica, se realizó de acuerdo con las especificaciones de la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014, la cual contiene las especificaciones que debe tener el mortero para uso estructural.

ESTADO DEL ARTE

Tabla 2. Referentes de trabajos científicos realizados morteros con agregados reciclados.

Referencia	Procedencia de áridos reutilizados.	Aglomerante.	Porcentaje de sustitución de áridos reciclados por naturales	Dosificación.	Resistencia a la compresión a 28 días.	Comentarios
Álvarez J. <i>et al.</i> <i>Cuba</i> 1997	Residuos de demolición de una edificación con sistema de viga y losa.	Cemento Portland P-350	100%	1:4 1:5 1:6 1:8	11.11 MPa 9.26 MPa 6.69 MPa 4.29 MPa	Todos los resultados están por encima de los valores mínimos establecidos por la norma cubana para mortero tipo1 2.4Mpa
Hincapié A. <i>et al.</i> <i>Colombia</i> 2003	Probetas cilíndricas de concreto.	Cemento Portland y cal tipo M.	+84%	1:0.25:3 1:0.5:4 1:1:5	11.5 MPa 7.5 MPa 4.7 MPa	Las propiedades Físicas de los morteros con áridos reciclados son muy similares a los de áridos naturales, sin embargo, disminuyen en cierta medida.
Corinaldesi V. & Moriconi G. <i>Italia</i> 2007	a)Residuos de concreto premezclado, b)ladrillos reciclados c)productos de planta recicladora.	CEM II/B-L 32.5 R	a)8% b)20% c)10%	1:3	a)16Mpa b)17Mpa c)21Mpa	Los valores de resistencia a la compresión de las mezclas con agregados reutilizados disminuyen comparándolos al mortero de referencia el cual alcanza los 28 Mpa.
Vegas I. <i>et al.</i> , <i>España</i> 2009	Residuos de concreto con resistencia a compresión media de 21.5 Mpa.	CEM II/B-M (V-S-LL) 42,5 R.	0% 10% 20% 25% 50% 75% 100%		13.92 Mpa 11.21 9.24 9.17 5.11 3.10 2.13	Entre mayor cantidad de agregados reciclados, se disminuye la resistencia a la compresión.

Jamaica M. España 2011	Residuos de concreto	Cemento CEM II/A-II 42,5 R Mortero premezclado comercial	100% 75% 50% 25% 0% 100% mortero premezclado	Por diseño	8.66 MPa 9.84 MPa 13.04 MPa 14.93 MPa 16.11 MPa 10.40 MPa	Los valores a resistencia a compresión son menores cuando tienen mayor contenido de agregados finos.
Braga M. <i>et al.</i> Portugal 2012	Residuos muy finos de concreto	CEM III-A 42.5 N/SR.	5% 10% 15%	1:4	5Mpa 8Mpa 9Mpa	Los mejores resultados se obtienen con la mezcla con 15% de agregado reciclado, superando a los morteros patrón.
Pigueiras E. <i>et al.</i> Cuba 2013	a) ladrillos cerámicos b) bloques de concreto	Cemento portland P-35	100%	1:2	a)34 MPa b)46 MPa	La resistencia a compresión de morteros fabricados a base de bloques de concreto, se acercan más a los valores de los morteros patrón, se descartan los morteros elaborados con residuos de ladrillos cerámicos.
Stefanidou M. <i>et al.</i> Grecia 2014	Producto de planta recicladora en Grecia.	Combinación de Cal hidratada, cemento blanco I42.5 y puzolana natural	100%	1:3	0.5-0.8Mpa	Los agregados reciclados molidos, prestan mejores propiedades a los morteros a comparación de los hechos con agregados naturales.
Saiz P. <i>et al.</i> España 2015	a) Concreto de planta recicladora. b) concreto de planta. c) residuos cerámicos.	cemento CEM II/B – L 32,5 N	10%, 15%, 25%, 35% y 45%	1:3	Valores máximos: a)30 MPa b)27 MPa c)26 MPa	Cumplen con la normativa, sin embargo, tienen una disminución del 20-30% en resistencia comparados con

						los morteros de referencia.
Fernández E. <i>et al.</i> España 2015	Producto reciclado de mampostería	Cemento CEM II/BL 32.5 N	0%, 25%, 50%, 75% y 100%	1:5		Se puede lograr una relación de reemplazo del 50% en el mortero para uso en interiores ya que su disminución del mortero patrón es del 11.3%.
Zhao Z. <i>et al.</i> Francia 2015	Producto de planta recicladora en Francia	CEM I 52.5 "superblanc"	0% 10% 20% 25% 50% 100%	1:3	40-70Mpa	Los morteros con AR presentan valores más bajos que los morteros patrón, por ejemplo, los que se sustituyen al 50% son inferiores por un 30% en compresión
Restuccia L. Italia 2016	Producto de planta recicladora de RCD	Cement Type-I (Buzzi Unicem 52,5R),	50% 75%		45.1 MPa 38.4 MPa	La mejor solución para muestras de mortero fabricadas con RSCD se ha obtenido con 50% de RSCD como agregado y 1% de superplastificante.
Feys Ch. <i>et al.</i> Belgica 2016	Residuos de concreto.	Cemento portland	5% 10% 25%	1:3	22-30 Mpa	Se genera una influencia positiva en la mezcla con 10% de sustitución.
Ismail S. <i>et al.</i> Malasia 2016	Cubos de concreto desechados de laboratorio.	CPO	0% 25% 50% 75% 100%	1:2.25	45-69Mpa	La mezcla con 25% de AR tiene una resistencia mayor a los morteros de referencia, sin embargo, los valores de todas

						las demás proporciones son menores.
Kallel T. <i>et al.</i> Túnez 2016	Residuos que emanan del lavado de arena.	CEM I 42.5	10% 30%	1:3	30-47Mpa	Los morteros con 10% de material reutilizado superaron a los morteros de referencia debido a las propiedades puzolánicas con las que cuentan los materiales que emanan del lavado de arenas.
López F. España 2017	Residuos cerámicos	CEM III-A 42.5 N/SR.	20% 35% 50% 70% 100%	1:6	5.6 N/mm ² 6.3 N/mm ² 7.2 N/mm ² 8.4 N/mm ² 7.9 N/mm ²	La mayoría de morteros con diferentes dosificaciones presentan mejora en la resistencia a la compresión, se nota un comportamiento distinto y variable para cada muestra.
Katz A. & Kulisch D. Israel 2017	Producto de plantas recicladoras.	CEM I 52.5 N	30% 100%	1:2	34-71Mpa	Los valores de los morteros patrón, alcanzaron 73.8% Mpa, los valores más cercanos a este fueron los morteros con sustituto del 30% y A/C 0.4, todos los demás son inferiores gradualmente conforme a su cantidad de agregados reciclados.
Çelik Ö. & Ozyazgan C. Turquía 2017	Arena estándar Rilem	Portland cement (CEM II/AL-LL 42.5 N) Residuos de asfalto	Sustitución de cemento por R. de asfalto de 5% 10% 15%	1:3	40-51Mpa	Todas las mezclas que contienen residuos de asfalto disminuyen su valor en las

						pruebas de compresión.
Pimentel L. <i>et al.</i> Brasil 2018	Producto de Planta recicladora de concreto y cerámicos	cemento de alto horno (CP III), cal tipo II	0% 30% 60%	-	7.12 y 6.36 MPa 5,86 y 5.16 MPa 5.65 y 3.71	Entre más agregado reciclado use la muestra, menor resistencia a la compresión, la mezcla con sustituto de 60% tiene una disminución en resistencia del 42% con respecto al mortero patrón.
Dang J. <i>et al.</i> China 2018	Residuos de ladrillos de arcilla Residuos de ladrillo combinado con mortero de demolición.	CPO	25% 50% 75%	1:3	30-45Mpa	Se obtuvieron diferentes resultados en la resistencia, las mezclas que superaron a los morteros patrón fueron los que contenían a combinación de residuos de ladrillo y mortero de demolición.
Guo M. <i>et al.</i> China 2018	Residuos de Vidrio.	CP 52.5R	100%	1:3	34Mpa	Las resistencias compresión con residuos de vidrio disminuyen un 37% comparándolas con morteros con arena de río, sin embargo, al tener un proceso de curado con CO ₂ , los morteros mejoran en cierta medida sus propiedades.
Berredjem L. <i>et al.</i> Argelia 2018	Especímenes de concreto producidos en laboratorio con 3	CEM I 52.5	15% 30% 40% 50% 75% 100%	1:2 1:3	38-44Mpa	La resistencia de los morteros con AR, son inferiores a los de mortero patrón, se pueden mejorar sus propiedades

	meses de edad y 30Mpa.					utilizando aditivos como superplastificantes.
--	------------------------	--	--	--	--	---

Fuente: Elaborado por el autor.

En la mayoría de los estudios revisados (ver tabla 2), se encuentra que los morteros con agregados reciclados presentan disminución en sus propiedades mecánicas, si se comparan con morteros patrón hechos con arena natural, sin embargo, en los estudios de López F., Feys Ch. *et al.* (2016), Braga M. *et al.* (2012), Dang J. *et al.* (2018), Kallel T. *et al.* (2016), Stefanidou M. *et al.* (2014) e Ismail S. *et al.* (2016), se lograron superar las propiedades de morteros de referencia, lo que brinda posibilidades de obtener resultados positivos.

Se observa que, los autores utilizan diferentes residuos de construcción y demolición para la elaboración de arenas recicladas para morteros. En ningún caso, se utiliza exclusivamente residuos de morteros, solamente en el trabajo de Dang J. *et al.* (2018), utiliza diferentes tipos de residuos y de ellos los que superaron a los morteros patrón, son en los que se emplearon residuos de ladrillo combinado con mortero de demolición.

Se usan diferentes aglomerantes, destacando el cemento portland compuesto en sus diferentes tipos, sin embargo, en ningún estudio se empleó cemento de albañilería. Este cemento también debe ser considerando en la elaboración de mortero, ya que está fabricado para brindarle propiedades ideales al mortero.

En la mayoría de los estudios, los autores utilizan una proporción de cemento-arena 1:3, solo Álvarez J. *et al.* (1997), elabora morteros hasta una proporción 1:8 y López F. (2017), usa una proporción de 1:6. En ambos casos, obtienen buenos resultados, por lo que es importante realizar más estudios de morteros con menor cantidad de cemento, siempre y cuando se cumplan con los requisitos de la normatividad vigente.

Se han encontrado pocos estudios en México sobre el tema de elaboración de morteros con RCD. En el estado de Chiapas, no se ha realizado ningún estudio similar, por lo cual,

la importancia e interés de realizar tan importante estudio sobre el reciclaje y reúso de los residuos de construcción y demolición en la región.

CAPÍTULO 1. ANÁLISIS DE REFERENTES

1.1 Marco conceptual

1.1.1 Morteros

El mortero, "...es el material formado por la mezcla de uno o más cementantes, arena, agua, y eventualmente aditivos o adiciones finamente pulverizadas (piedra caliza, arcilla, puzolana, escoria granulada de alto horno, ceniza volante), tiene la propiedad de fraguar tanto en el aire como en el agua y forma una masa endurecida que adquiere resistencia mecánica con el paso del tiempo hasta un punto máximo" (NMX-C-486-ONNCCE-2014).

La función principal del mortero es unir las piezas usadas en las estructuras de mampostería, en un arreglo que trabaje como un solo elemento integral, que cuente con ciertas características deseadas de desempeño y funcionalidad. Este mortero influirá en las propiedades del conjunto del elemento de la estructura de mampostería.

Debido a que el mortero y el concreto comparten características y materiales, constituyentes como la arena y el cemento, es común suponer que una buena práctica de diseño y uso del concreto es también del mortero. Lo anterior, se difiere ya que los morteros son diferentes del concreto en su consistencia, métodos de colocación y ambiente de curado. El mortero, usualmente se utiliza para unir piezas, formando un elemento estructural de mampostería, mientras que el concreto es un elemento estructural en sí mismo.

1.1.1.1 Clasificación

De acuerdo con la NMX-C-486-ONNCCE-2014, los morteros pueden ser clasificados en:

Clasificación por su fabricación.

- **Hecho en obra.** Es el mortero que es dosificado en volumen, y se mezcla por medios manuales o por medios mecánicos.

- **Industrializado.** Es el mortero dosificado en masa, y se mezcla por medios mecánicos en planta. Puede ser:

Mortero seco. Es una mezcla con componentes pre dosificados preparada industrialmente y suministrada en estado seco a la obra, donde se adiciona el agua para obtener una mezcla homogénea para su utilización.

Mortero de larga duración en estado fresco. Mezcla pre dosificada industrialmente que incluye agua, para conseguir un compuesto homogéneo listo para usarse y cuya trabajabilidad se mantiene por un periodo determinado.

Clasificación por su uso

- **Para pegar piezas.** Es el utilizado para pegar piezas de mampostería entre sí.
- **De relleno.** Es una mezcla que se emplea para llenar celdas de piezas huecas en elementos estructurales de mampostería.

Clasificación por su resistencia a la compresión

Los morteros se clasifican en 3 tipos, según lo indica la tabla 3, y de acuerdo con su resistencia a la compresión, que es la capacidad de carga a compresión por unidad de área del mortero, medida en ensayos de especímenes cúbicos o cilíndricos elaborados, curados y probados en las condiciones estándar especificadas.

Tabla 3. Clasificación del mortero por su resistencia a la compresión.

Tipos de mortero.	Resistencia promedio a la compresión $f'c$; MPa (kg/cm ²)	Resistencia mínima individual la compresión f_j mín, MPa (kg/cm ²)
I	18,0 (180)	12,5 (125)
II	11,0 (110)	7,5 (75)
III	6,0 (60)	4,0 (40)

Fuente: NMX-C-486-ONNCCE-2014

1.1.2 Residuos de la construcción y demolición

De acuerdo con las normas ambientales vigentes de la Ciudad de México, se definen a los residuos de construcción y demolición como los materiales, productos o subproductos, generados durante las actividades de demolición, ampliación, remodelación, modificación o construcción, tanto pública como privada; así como, el producto proveniente de la excavación, cuando éste se haya alterado en sus condiciones físicas, químicas y biológicas originales (NADF-007-RNAT-2013).

De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), son considerados como residuos de manejo especial. Los residuos de construcción y demolición se clasifican de acuerdo con su origen (ver tabla 4).

Tabla 4. Clasificación de los residuos de construcción y demolición (RCD).

Grupo	Subproducto
Material de excavación	Material para relleno.
Concreto.	Concreto: Morteros, bases hidráulicas, concretos hidráulicos, adocretos, adopastos, bordillos, postes de cemento-arena. Asfalto: carpetas asfálticas.
Elementos mezclados prefabricados y pétreos.	Piedra, block-tabique, tabicones mortero, adoquines, tabicones, tubos de albañal, mamposterías, ladrillos.
Otros.	Yeso, madera, cerámica, plástico, metales, lámina, vidrios, papel y cartón.
Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	RSU
Residuos orgánicos producto de despalle.	Hojas, ramas, troncos y raíces.

Fuente: CMIC, 2013

Por cada obra, se generan grandes cantidades de residuos. Se estima que en una obra de demolición se generan alrededor de 900 kg/m², mientras que una obra nueva genera

200 kg/m² (Castells, 2000). En general, en obras nuevas de Latinoamérica, el desperdicio en la construcción corresponde al 20%, en masa, como mínimo, de todos los materiales utilizados (Jouchelevich, 1994). Estos desperdicios generan pérdidas económicas para los constructores, tanto en materiales como en el transporte a su disposición final.

En México, se estima que del año 2006 al 2012 se produjeron 6,111 millones de toneladas anuales promedio de residuos de construcción y demolición (SEMARNAT, 2012). La CMIC, en el año 2013, realizó un escenario de la posible generación para el año 2018 en México, considerando el crecimiento de la industria de la construcción de 5.0% promedio anual, obteniendo una generación estimada de residuos de 9.9 millones de toneladas para el año 2018 (27,000 ton/día, aproximadamente).

1.2 Marco Teórico

1.2.1 Concepto de desarrollo sustentable

El enfoque de sustentabilidad se planteó como una demanda social para la reconstrucción del planeta, con un propósito trascendental: atender de manera inmediata los diversos problemas ambientales generados en los procesos de producción de las actividades antropogénicas. El desarrollo sustentable fue planteado por primera vez en el Club de Roma en 1972, en el informe *The Limits to Growth*, publicado en *Only One Earth*, que manifiesta el vínculo existente entre crecimiento económico, población y escasez de recursos naturales. El texto se convirtió en una referencia mundial tras la Declaración de Estocolmo de la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Humano, celebrada en ese mismo año; no obstante, el término “desarrollo sustentable” surge en 1987, en el informe *Nuestro Futuro Común*, realizado por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de la Organización de Naciones Unidas (ONU), conocido como el Informe Brundtland, elaborado por una comisión encabezada por la doctora Gro Harlem Brundtland, entonces primera ministra de Noruega, que fue encargada de determinar las condiciones en las que debería fomentarse el desarrollo sustentable, como aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones y compatible con la conservación del ambiente,

requisito indispensable para lograr el mantenimiento de los sistemas naturales y asegurar la continuidad del desarrollo humano al paso del tiempo (ONU, 1987, comentado por Escamiroso, 2015).

Hoy en día, el desarrollo sustentable ha logrado rápidamente penetrar en el sector social con compromisos a nivel internacional. La sustentabilidad se plantea como una exigencia social para la reconstrucción del planeta, debiendo dar respuesta inmediata con fundamentos científicos y técnicos, a los diversos aspectos que involucra a todas las actividades de los habitantes. Si bien se trata de un concepto económico, social y ecológico, la sustentabilidad aparece a menudo como una exigencia tecnológica, que adquiere sustancia y contenido en los procesos técnicos que nuestra sociedad produce. Al respecto, ha evolucionado el vínculo entre desarrollo y medioambiente, ya que entre los años setenta y ochenta, la postura era limitar el crecimiento para no agotar los recursos naturales no renovables; no obstante, entre los ochenta y noventa, el planteamiento fue que exista crecimiento económico para combatir la pobreza, pero con restricciones ambientales, sustituyéndose la postura del “no crecimiento” por un “crecimiento verde”, lo que significa pasar de una dicotomía a una concomitancia entre desarrollo y medioambiente (Escamiroso, 2015).

1.2.2 Construcción sostenible

La construcción sostenible tiene muchas definiciones e interpretaciones, sin embargo, en la mayoría se coincide con el concepto de Lanting (1996), el cual menciona que la construcción sostenible se dirige hacia una reducción de los impactos causados por los procesos de construcción, uso y derribo de los edificios y por el ambiente urbanizado.

De acuerdo con Kibert (1994), la construcción sostenible se basa en los siguientes principios:

1. Conservación de recursos: se refiere a hacer un uso eficiente de la materia prima.
2. Reutilización de recursos: consiste en general cantidades mínimas de residuos mediante la reutilización óptima de los recursos.

3. Utilización de recursos Reciclables y Renovables en la construcción: se lleva a cabo a través de la reutilización de los recursos disponibles e incrementando la vida útil de los mismos, creando un incremento en la eficiencia energética.
4. Consideraciones respecto a la gestión del ciclo de vida de las materias primas utilizadas, con la correspondiente prevención de residuos y de emisiones.
5. Reducción en la utilización de la energía: implica una eficiencia energética y un control en crecimiento de movilidad.
6. Incremento de la calidad, tanto en lo que atiende a materiales, como a edificaciones y ambiente urbanizado: hace referencia a la adaptabilidad de las necesidades actuales y futuras del usuario.
7. Protección del Medio Ambiente: se logra mediante materiales con bajas emisiones tóxicas, compatibilidad con las necesidades de los ocupantes, disminución de ruidos, contaminación y olores.

1.2.3 Reciclaje y reúso de residuos de construcción y demolición como técnica de la construcción sostenible

Un ejemplo de la implementación de la construcción sostenible, durante los últimos años ha sido el reciclaje y reúso de los residuos de la construcción y demolición. Estos materiales se definen como “aquellos materiales producto o subproducto generado durante las actividades de excavación, demolición o desmantelamiento de instalaciones de obra, pública o privada que han tenido un proceso de selección, molienda, cribado y almacenamiento, entre otros, y que por sus características puede ser reincorporado en las obras” (CONEPU, 2006). Al usar materiales reciclados se obtienen múltiples ventajas:

- Minimización en la generación de residuos de construcción y demolición y los impactos que se derivan de ellos.
- Minimización en la explotación de agregados vírgenes.
- Reducción del consumo de energía por transporte de agregados.
- Aumento al ciclo de vida útil de los materiales.

El aprovechamiento de los residuos, dependerá de la correcta separación de los mismos, la CMIC presenta un listado (ver tabla 5), a modo de propuesta de los tipos de usos que se pueden dar a los residuos con base a su clasificación:

Tabla 5. Posible uso de los residuos de construcción reciclados

Residuo	Material reciclado	Aplicación
Escombros mezclados de concretos y morteros.	Agregados reciclados.	Base hidráulica en caminos y estacionamientos.
		Concretos hidráulicos.
Fresado de carpetas asfálticas.	Mezclas de material asfáltico.	Bases asfálticas o negras.
		Asfaltos calientes, templados y fríos.
Escombros mezclados.	Material firme.	Carreteras.
Escombros mezclados.	Material firme.	Terraplén.
Escombros mezclados.	Arena reciclada.	Cobertura en rellenos, sustituto de Tepetate.
		Fabricación de Blocks, Tabiques, Adoquines, Adopastos, Losetas, Postres, Bordillos, Guarniciones.
Escombros mezclados.	Agregados finos.	Andadores y ciclistas.
Escombros mezclados.	Agregados reciclados.	Camas de tuberías, acostillamiento y relleno.
		Relleno de cimentaciones.
		Pedraplenes.
		Relleno de azoteas y jardineras.
Residuos de concreto.	Grava de arena reciclada.	Conformación de terrenos.
		Guarniciones y banquetas.
		Firmes de concreto.
		Construcción de muros,

Fuente: CMIC 2014.

1.2.4 Tratamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD)

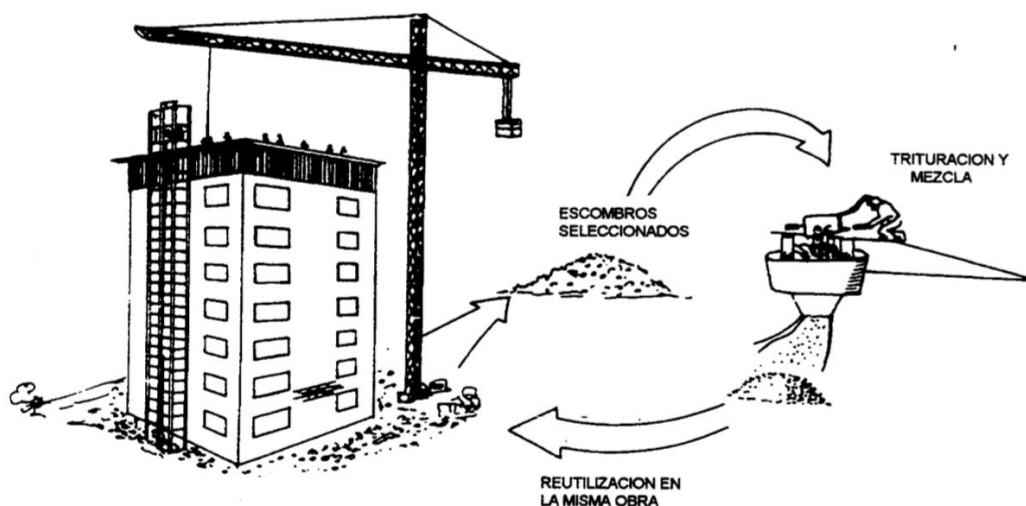
Para un aprovechamiento adecuado de los residuos de construcción y demolición (RCD), se deben realizar un tratamiento, que según la ERU (Empresa de Renovación y Desarrollo Urbano de Bogotá), es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas, mediante las cuales se modifican las características de los residuos de construcción y demolición, incrementando sus posibilidades de reutilización o se minimizan los impactos ambientales y los riesgos para la salud humana.

La manera más común de procesar estos materiales alrededor del mundo, es mediante plantas de transferencia y plantas de reciclado o tratamiento (ver imagen 14). Según a CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas en España), las plantas de transferencia son instalaciones para el depósito temporal de residuos de la construcción que han de ser tratados o eliminados en instalaciones localizadas a grandes distancias. Su cometido principal es agrupar residuos y minimizar los costos de transporte.

Las plantas de tratamiento son instalaciones de tratamiento de RCD, cuyo objetivo es seleccionar, clasificar y valorizar las diferentes fracciones que contienen estos residuos, con el objetivo de obtener productos finales aptos para su utilización directa, o residuos cuyo destino será otro tratamiento posterior de valorización o reciclado, y si este no fuera posible, se procede a la eliminación en vertedero o sitio preestablecido. Las plantas de producción de áridos reciclados son bastante similares a las plantas de machaqueo de áridos naturales, ya que incluyen machacadoras, cribas y dispositivos de transporte.

Además, se puede realizar otra clasificación de las plantas, según su capacidad de desplazamiento, en: móviles y fijas. Las plantas móviles están constituidas por maquinaria y equipos de reciclaje móviles, suelen desplazarse a las obras para reciclar en origen. Utilizan un remolque de lecho plano como plataforma para el equipo de precibado, trituración, separación y cribado final, junto con transportadoras, conductos y controles.

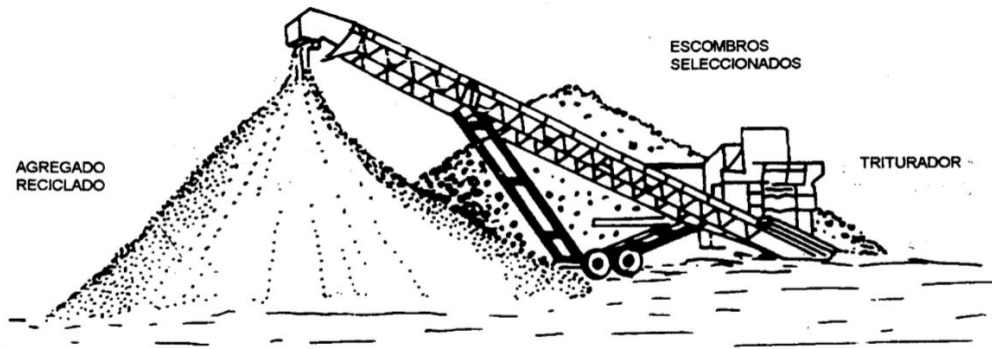
Imagen 10. Planta de tratamiento de RCD móvil



Fuente: Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos CEMPRE, 1998.

Las plantas fijas son instalaciones de reciclaje ubicadas en un emplazamiento fijo, con autorización administrativa para el reciclaje de RCD, cuya maquinaria de reciclaje (fundamentalmente los equipos de trituración) son fijos y no operan fuera del emplazamiento donde están ubicados. Se montan de una forma permanente y proporcionan la mayor gama de capacidad. Estas plantas son en líneas generales, similares a las empleadas para el machaqueo de áridos naturales, si bien incorporan de forma específica elementos para la separación de impurezas y otros contaminantes. Generalmente incluyen varios procesos de trituración y pueden procesar entre 300 y 400 toneladas por hora (ver imagen 15) (CEDEX, 2014).

Imagen 15. Planta fija de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD).



Fuente: Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos CEMPRE, 1998.

1.3 Marco normativo

En México, la normatividad existente, relacionada con las estructuras de concreto, incluyendo el mortero, es muy amplia y variada. A continuación, se enumeran las más importantes y relacionadas con el presente trabajo de investigación:

1. **NMX-C-486-ONNCCE-2014.** Especificaciones y métodos de ensayo de mortero de uso estructural.
2. **NMX-C-021-ONNCCE-2015.** Especificaciones y métodos de ensayo del cemento de albañilería comercializado en territorio nacional.
3. **NMX-C-061-ONNCCE-2014.** Determinación de la resistencia a compresión de cementantes hidráulicos.

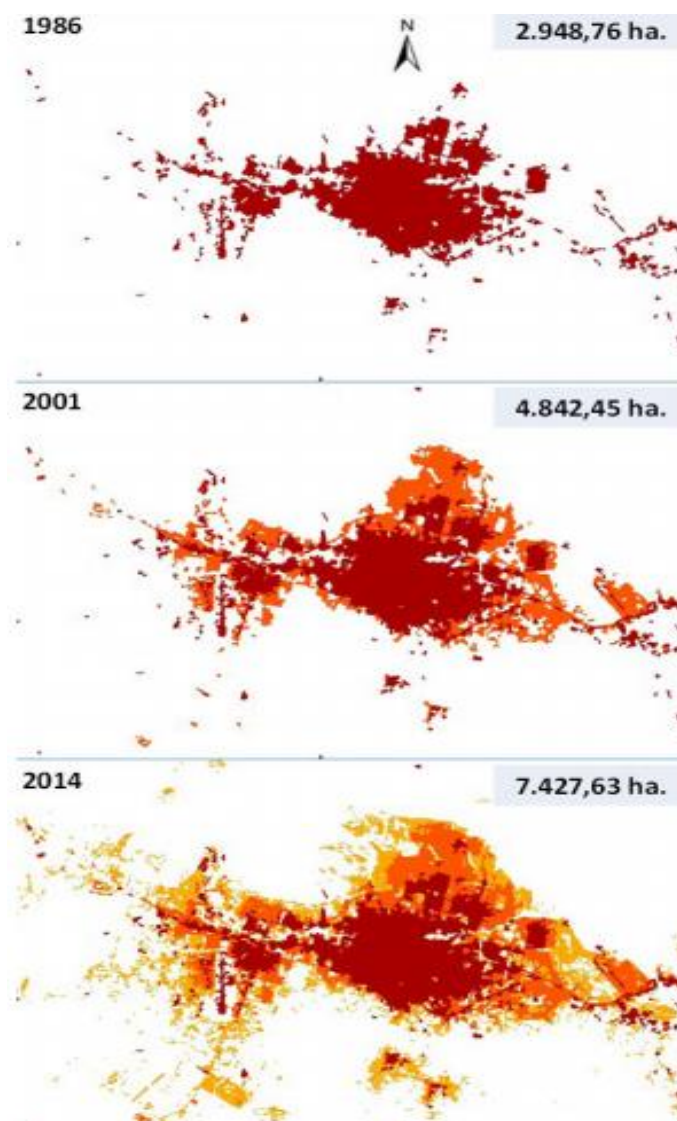
4. **NMX-C-156-ONNCCE-2010.** Determinación del revenimiento en mezclas en estado fresco.
5. **LGPIR. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos.** Específica a los residuos de construcción y demolición como residuos de manejo especial.
6. Normas de construcción de la Administración Pública del Distrito Federal. En el libro 4 “Calidad de los materiales” capítulo 29, contiene los requisitos de calidad de los residuos de la construcción reciclados.
7. **NOM-161-SEMARNAT-2011.** Establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determina que los residuos de construcción y demolición están sujetos a Plan de Manejo.
8. **PM-RCD.** Plan de manejo de residuos de la construcción y la demolición.
9. **NADF-007-RNAT-2013.** Clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción y demolición, en el distrito federal.
10. **NMX-AA-164-SCFI-2013.** Especifica los criterios y requerimientos ambientales mínimos de una edificación sustentable para contribuir en la mitigación de impactos ambientales y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.
11. **UNE-EN 998-2:2012.** Especificaciones de los morteros para albañilería.
12. **ASTM C270-14.** Standard Specification for Mortar for Unit Masonry.
13. Reglamento de construcción para el municipio de Tuxtla Gutiérrez (2018).
14. Ley de equilibrio ecológico y protección al ambiente del estado de Chiapas (2018).

CAPÍTULO 2. CASO DE ESTUDIO: TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

2.1 Características del sitio

Tuxtla Gutiérrez es una ciudad y municipio mexicano, capital y núcleo urbano más grande del estado de Chiapas. Se ubica en la Depresión Central de Chiapas, a 525 m.s.n.m. Es centro de la Zona Metropolitana de Chiapas, que ha sido definida como la integración de tres municipios: Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo y Berriozábal.

Imagen 11. Crecimiento de la mancha urbana en Tuxtla Gutiérrez.



Fuente: Silva, et al. (2015)

El 15 de marzo de 2015, el municipio de Tuxtla Gutiérrez contaba con una población de 598,710 habitantes y con una tasa de crecimiento promedio anual, del 2010 al 2015, de 1.7% (INEGI, 2015).

Tuxtla Gutiérrez denota un rápido crecimiento horizontal. Una población en constante crecimiento demanda la ampliación de espacios habitacionales, vías de comunicación y otras infraestructuras. De 1986 a 2014, la mancha urbana de Tuxtla Gutiérrez se multiplicó por 2.5 veces (ver imagen 16), Lo cual es un indicativo de la evolución temporal y de posibles tendencias (Silva M. *et al.*, 2015).

Actualmente, las viviendas de la ciudad en su generalidad, son de algunas décadas de edad, ya que prácticamente todas las viviendas fueron destruidas por el sismo subductivo con magnitud de 7.7 e intensidades de X en la zona, presentado el 23 de septiembre de 1902 (Figuroa, 1973).

De acuerdo con datos del Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED, 2014), el material de construcción de las viviendas en el año 2010 en Tuxtla Gutiérrez, varían desde piso de cemento o firme (61.43%), el mayor porcentaje, piso de tierra (4.88%), de madera, mosaico u otro material (33.20%); en relación a los techos, la mayoría presentan losa de concreto (79.65%), de teja (1.61%), lámina metálica, de asbesto, palma, paja, madera o tejamanil (17.63%), material de desecho o lámina de cartón (0.83%); y respecto a paredes, las de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto (92.15%) son el porcentaje mayor, de madera o adobe (3.84%), barro o bajareque, lámina de asbesto o metálica, carrizo, bambú o palma (2.21%), lámina de cartón o material de desecho (1.64%).

Para las construcciones predominantes de Tuxtla Gutiérrez, el mortero juega un papel importante, ya que es un elemento empleado en diferentes aplicaciones.

2.2 Morteros en Tuxtla Gutiérrez

En la ciudad de Tuxtla Gutiérrez y sus alrededores, los morteros más utilizados en las obras de construcción son los que están compuestos por cemento y arena, además cabe

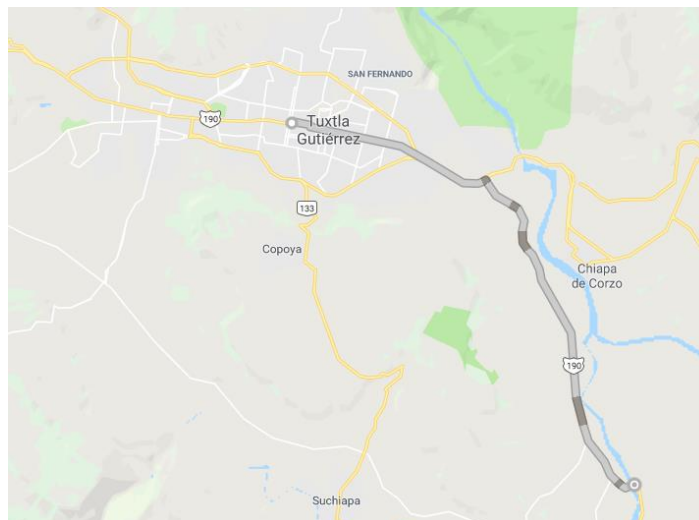
mencionar que, de acuerdo con su fabricación, se clasifican como morteros para albañilería hecho en obra, es decir, que la dosificación de materiales y mezclado se realizan en el sitio de aplicación.

Los morteros tienen múltiples aplicaciones durante toda la etapa de una obra, como, por ejemplo, en la estabilización de taludes, plantillas para cimentaciones, pegado de losetas, pegado de mampostería, aplanados interiores y exteriores, enjarres, colado de firmes, detalles estéticos, relleno de celdas, entre otras.

Así también, el mortero juega un papel importante en la elaboración de elementos constructivos prefabricados principalmente en elementos como bloques, bovedillas, piedras artificiales y más.

Para la fabricación de mortero, los tipos de cemento más utilizados en la región de Tuxtla Gutiérrez, son el cemento portland compuesto y el cemento de albañilería, los cuales se comercializan en la ciudad de una forma accesible en diferentes marcas y con múltiples proveedores.

Imagen 12. Ruta de los distribuidores de arena a la ciudad de Tuxtla Gutiérrez



Fuente: Google earth, 2019.

En Tuxtla Gutiérrez, la mayoría de la arena que es utilizada para la construcción de viviendas o edificios, proviene del río Santo Domingo en el municipio de Chiapa de Corzo (Morales H. & Ramírez C., 2008). En las márgenes de dicho río se concentran más de 40 plantas de extracción que se localizan a una distancia de la ciudad de 22 km (distancia del centro de Tuxtla Gutiérrez al puente Santo Domingo) (ver imagen 17).

Sin embargo, la extracción de arena en esta región trae consigo un impacto ambiental irreversible, esta actividad conlleva a diferentes afectaciones como la erosión e inestabilidad de los suelos, contaminación a las corrientes superficiales y subterráneas de agua, contaminación atmosférica, afectaciones a la flora, a la fauna y al paisaje (Perez & Vázquez, 2016) (ver imagen 18)

Es por ello que, en la zona de Tuxtla Gutiérrez, el aprovechamiento de los recursos se debe hacer de manera responsable para garantizar un equilibrio entre las actividades humanas y el medio. Una de las acciones que se deben implementar son las de la construcción sostenible.

Imagen 13. Contaminación que causa la extracción de arena natural



Fuente: Elaborada por el autor.

2.3 Residuos de construcción y demolición en Tuxtla Gutiérrez

2.3.1 Situación actual

En el estado de Chiapas, en el año 2011, se estimó una aproximación de generación de residuos de construcción y demolición de 147,474.41 ton (CMIC, 2013), posicionándose en el 14vo lugar a nivel nacional.

Tabla 6. RCD predominantes en tres sitios de disposición inadecuada.

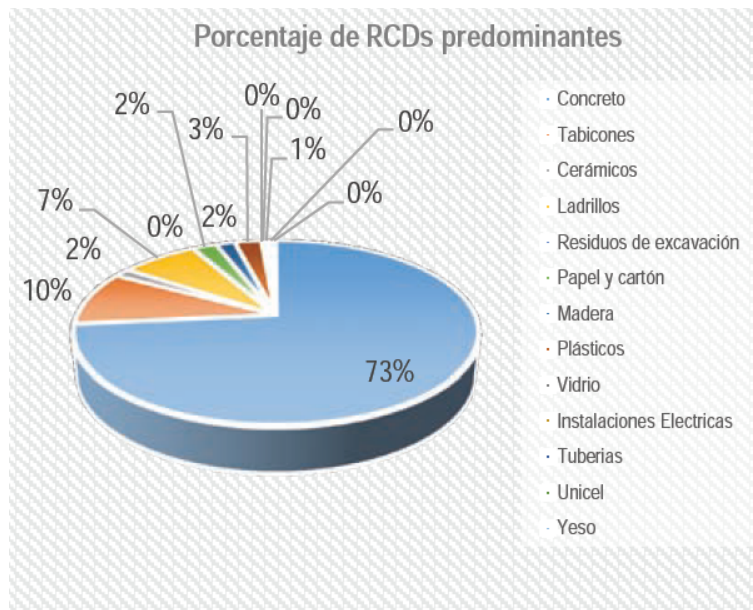
Categoría	Tipo de Residuo	M ³	kg	%	s
B	Concreto	.-	1816.8	73	493.35
	Tabicones	.-	238.4	10	
	Cerámicos	.-	37.2	2	
	Ladrillos	.-	183.1	7	
D	Residuos de excavación	28	.-	1	
E	Papel y cartón	.-	57.9	2	
	Madera	.-	44.2	2	
	Plásticos	.-	63	3	
	Vidrio	.-	3.9	0	
F	Instalaciones Eléctricas	.-	3.2	0	
	Tuberías	.-	12.1	0	
	Unicel	.-	8.9	0	
	Yeso	.-	6.6	0	

Fuente: Sánchez V., 2018.

Para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, se han obtenido pocos resultados en torno a la generación de residuos de construcción y demolición, sin embargo, en un estudio realizado por Sánchez V. *et al.* (2018) se muestran los resultados de la caracterización de 3 sitios de disposición de RCD, elegidos por su homogeneidad, obteniendo los siguientes resultados en lo referente a la caracterización y cuantificación (ver tabla 6).

En la imagen 19, se observa que los residuos que predominan son provenientes de productos fabricados a base de concreto.

Imagen 14. Porcentajes de residuos de construcción y demolición (RCD) en Tuxtla Gutiérrez



Fuente Sánchez V. et al, 2018.

En la ciudad no se aplican los criterios de reciclaje de RCD. En el mejor de los casos, estos residuos son usados comúnmente para relleno y nivelación de terrenos, banquetas entre otros, sin embargo, en su mayoría tienen una disposición final inadecuada y son depositados en vertederos que generan grandes impactos ambientales y sociales tal y como se menciona en la problemática de esta investigación.

CAPÍTULO 3. MATERIA PRIMA

3.1 Agregados

3.1.1 Método de obtención de agregados de residuos de construcción y demolición

Se obtuvieron materiales provenientes de residuos de construcción y demolición de la categoría A de la NADF-007-RNAT-2013 (provenientes de concretos hidráulicos y morteros), se garantizó que se cumplieran con los parámetros de calidad sugeridos por las normas de construcción de la administración pública del distrito federal, la cual especifica:

El material producto de residuos de la construcción para ser procesado y ser utilizado en las obras deben ser clasificadas de acuerdo a su origen.

Deben estar libres de residuos orgánicos como papel, cartón, madera, textiles entre otros.

Debe estar libres de residuos peligrosos que por sus características (corrosivas, radioactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o de reactividad) presenten un peligro para el ambiente o la salud.

Los residuos de la construcción reciclados no deben usarse para la construcción de bases y sub-bases de vialidades primarias, ni para la fabricación de concretos hidráulicos del tipo estructural.

3.1.2 Procedencia de los materiales

Las materias prima para los agregados de los morteros estudiados en esta investigación fueron arena natural (para testigos) y 5 tipos de residuos de construcción y demolición de la categoría provenientes de concretos hidráulicos y morteros de distinta procedencia, que se describen a continuación.

Agregado N. Arena natural.

La arena natural utilizada es procedente del río Santo Domingo, ubicado en el municipio de Chiapa de Corzo. Este tipo de arena es el más utilizado en las construcciones de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez y es comercializado por distribuidores locales de manera accesible.

Agregado A. Residuos de mortero 1:5 elaborado en obra

Estos materiales se obtuvieron de la construcción de un edificio ubicada en la zona centro de la ciudad, en la cual se emplearon morteros principalmente en pegue de mampostería, elaboración de firmes, elaboración de aplanados interiores y exteriores, pegue de piedra laja y losetas cerámicas, entre otros.

Se recolectaron los residuos de morteros los cuales fueron elaborados con cemento de albañilería, arena natural con una dosificación 1:5. Para facilitar la recolección de los residuos de mortero se usaron lonas y plástico colocadas en las partes inferiores de la zona de aplicación, de esta manera se garantizó que los residuos no se contaminaran, además que facilitaron su separación. con esta técnica se obtuvo mayor limpieza y seguridad en el proceso constructivo.

Ilustración 15 Recolección de mortero en obra.



Agregado B. Residuos de mortero 1:3 elaborado en obra

El residuo de mortero, elaborado en obra, se obtuvo como agregado y se realizó el mortero en el mismo lugar y de la misma manera que el material A, a diferencia que el mortero del cual se recolectaron los residuos fue preparado con una proporción cemento-arena 1:3.

Imagen 16. Residuos de mortero recolectados.



Fuente: Elaborada por el autor.

Agregado C. Residuos de mortero recolectados en sitio de disposición.

Se eligieron fragmentos de residuos de mortero de demolición que se encontraban depositados en un vertedero de la colonia al norte de la ciudad (ver imagen 22).

Se escogieron fragmentos de un mismo montículo, libres de contaminantes, con forma regular y composición similar.

Imagen 17. Montículo de residuos de mortero en sitio de disposición.



Fuente: Elaborado por el autor.

Agregado D. Residuos de bloques

Se eligió un sitio de disposición de RCD al poniente de la ciudad, se eligieron residuos provenientes de bloques (ver imagen 23), por tratarse un material muy común en todas las obras de construcción y obras de demolición. Se eligieron las piezas que mejor estuvieran conservadas y más completas para evitar que sus componentes estuvieran mezcladas con los demás materiales.

Imagen 18. Residuos de bloques en sitio de disposición.



Fuente: Elaborado por el autor.

Agregado E. Residuos de concreto.

Se eligieron fragmentos que se encontraban depositados en un sitio de disposición, fueron recolectados de un mismo montículo.

Imagen 19. Residuos de concreto recolectado



3.1.2 Tratamiento

El objetivo del tratamiento es obtener agregados pétreos a partir de residuos de concreto, según a la NMX-C-486-ONNCE-2014 para la elaboración de morteros se debe utilizar agregados finos. De acuerdo con la misma norma, este tipo de agregado se define como arena natural seleccionada u obtenida mediante trituración y cribado, con partículas de tamaño comprendido entre 75 micrómetros (malla No. 200) y 4.75 milímetros (malla No. 4).

Para alcanzar los rangos granulométricos requeridos, y con ello considerarse agregados de morteros, los residuos de la categoría de concreto fueron sometidos a un tratamiento mediante a los procesos de triturado y cribado que se define a continuación:

- 1) Una vez seleccionados los residuos, fueron pasados por una malla con aberturas de tamaño de 4.75 mm, (malla No. 4) (ver imagen 25). Lo anterior, con el fin de separar las partículas de dichos residuos en partículas finas y gruesas, mediante a este proceso se obtuvieron agregados finos de manera inmediata los cuales fueron almacenados en depósitos temporales.

Imagen 20. Cribado de residuos de mortero en obra.



Fuente: Elaborada por el autor.

- 2) Las partículas gruesas que no pasaron la malla antes mencionada, fueron sometidas a un proceso de trituración manual, el cual consistió en la pulverización por impacto de los materiales entre dos placas metálicas. Una de las placas contaba con 6 piezas metálicas de 4.75 mm de espesor, que sirvieron de límite, y de esa manera evitar que las partículas fueran trituradas de manera excesiva para garantizar una granulometría homogénea. En algunos casos, los fragmentos tenían tamaños mayores a 50 mm, por lo que fueron reducidos con ayuda de un marro de 12 lb (ver imágenes 26 y 27).

Imagen 21. Proceso de trituración de los residuos



Fuente: Elaborada por el autor.

Imagen 22. Producto de trituración manual.

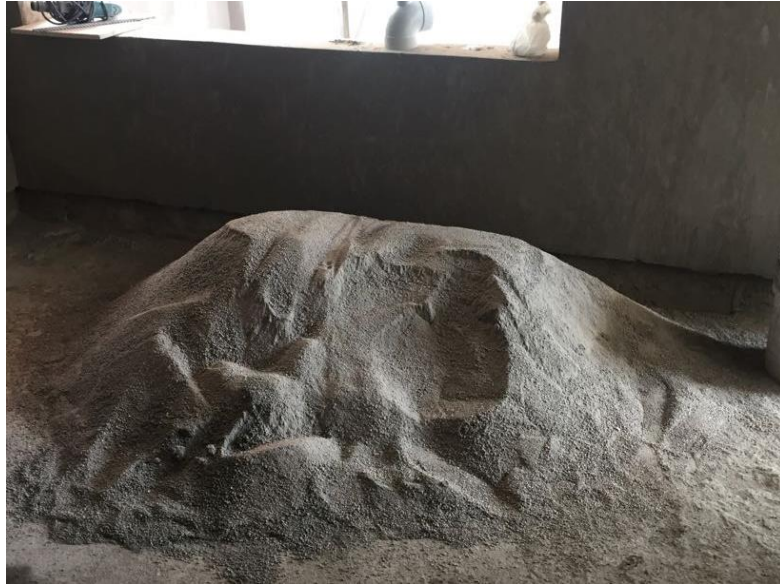


Fuente: Elaborada por el autor.

- 3) Una vez trituradas, las partículas se pasaron nuevamente por la malla No. 4, seleccionando los agregados finos para almacenarlos.

La arena natural de río (ver imagen 28), se obtuvo de un proveedor local, por ello, para esta investigación solamente bastó el proceso de cribado por la malla No. 4 para la obtención de agregado fino natural. Una vez obtenidos los agregados finos, se almacenaron siguiendo las recomendaciones de la norma NADF-007-RNAT-2013, cuyas especificaciones son las siguientes: evitar dispersión de polvos, estar libre de contaminantes y humedad. Deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

Imagen 23. Arena almacenada obtenida en obra



Fuente: Elaborada por el autor.

3.1.3 Caracterización de los agregados

El agregado en el mortero consta de arena, obtenida natural o artificialmente, que ocupa la mayor parte de volumen de la mezcla de mortero. La arena actúa como material de relleno y proporciona economía, trabajabilidad, reduce la contracción del mortero y participa en la resistencia a la compresión. Una arena bien graduada reduce la separación de las partículas, lo cual reduce el sangrado y mejora la trabajabilidad. Una arena escasa en finos produce morteros rugosos, mientras que un exceso de finos redundaría en morteros débiles y en un aumento en el agrietamiento por contracción. Para definir si un tipo de arena es bien graduada o no, se realiza el estudio de granulometría.

Granulometría.

La granulometría es el estudio de la distribución estadística de los tamaños de una colección de elementos de un material sólido fraccionado.

La NMX-C-486-ONNCE-2014, recomienda que la granulometría de la arena se encuentre dentro el siguiente rango (ver tabla 7).

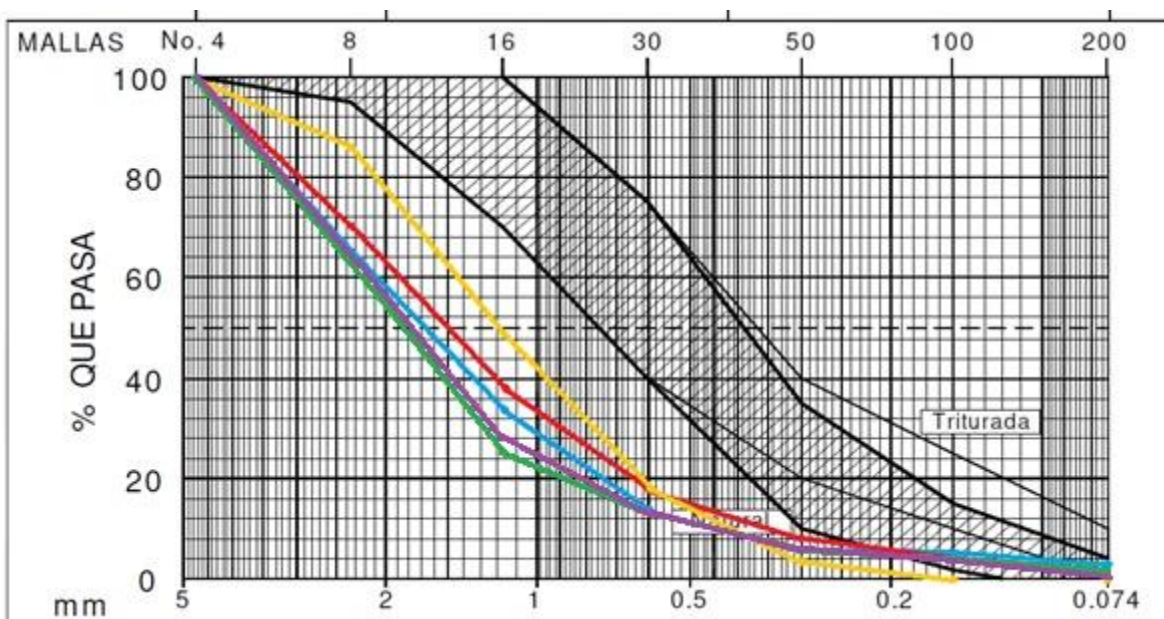
Tabla 7. Límites de granulometría recomendada por la NMX-C-486-ONNCE-2014

Malla	Arena	
	Natural	Triturada
4	100	100
8	95-100	95-100
16	70-100	70-100
30	40- 75	40- 75
50	10- 35	20- 40
100	2 - 15	10- 25
200		0 - 10

Fuente: NMX-C-486-ONNCE-2014

Una vez obtenidos los agregados finos de los materiales seleccionados, se realizó las pruebas de granulometría correspondiente a cada uno de ellos, en la gráfica siguiente se muestran las curvas granulométricas (ver gráfica 1).

Gráfica 1. Curvas granulométricas de las arenas obtenidas



- **Arena natural.**
- **Arena reciclada obtenida de residuos de mortero 1:3.**
- **Arena reciclada obtenida de residuos de mortero 1:5.**
- **Arena reciclada obtenida de residuos block.**
- **Arena reciclada obtenida de residuos de concreto.**

Se realizó una caracterización física a las arenas que servirán como agregado para elaboración de morteros. Se observa en las curvas granulométricas (ver gráfica 1), que todos los agregados se encuentran fuera del rango que recomienda la NMX-C-486-ONNCE-2014, por lo tanto, todas son arenas mal graduadas.

3.2 Aglomerantes

Para estudiar el comportamiento de los morteros de esta investigación, se eligieron dos diferentes tipos de aglomerantes: cemento de albañilería y cemento portland compuesto.

3.2.1 Cemento para albañilería

El cemento de albañilería, es un tipo de cemento conformado por una mezcla de ingredientes minerales, en el cual también están presentes los ingredientes con los que se fabrica el cemento Portland. Al mezclarse con agua y arena se caracteriza por garantizar mezclas con características ideales para mortero con usos de albañilería, tales como gran plasticidad, adherencia, trabajabilidad y resistencia a la compresión.

Según CEMEX (2014), debido a las propiedades con las que cuentan los morteros elaborados con cemento de albañilería son ideales para:

- Aplicación de acabados y recubrimientos de textura fina y rugosa.
- Sentado de bloques y ladrillos.
- Mampostería y construcción de firmes.
- Colocación de azulejos y mosaicos.

Con frecuencia, en México se le denomina comúnmente como “mortero”, antes de ser mezclado con el agua y la arena. La desventaja de este tipo de cemento es que no alcanza las resistencias a compresión que ofrece el cemento portland por lo que no debe de utilizarse para el levantamiento de columnas, losas, trabes y castillos ya que no ofrece resistencias estructurales. Las especificaciones de calidad del cemento de albañilería están establecidas por la NMX-C-021-ONNCCE-2015.

Adicional a las propiedades mencionadas que brinda el cemento de albañilería a las mezclas de mortero, la importancia de estudiar mezclas con este tipo de cemento, reside en que en Tuxtla Gutiérrez es vendido de manera accesible por las tiendas de materiales, además que cuenta con un precio menor al cemento portland.

3.2.2 Cemento Portland compuesto (cemento gris).

De acuerdo con CEMEX (2014), el cemento Portland es un conglomerante formado a partir de una mezcla de clinker, caliza y yeso, molidos finamente; el cemento mezclado con agua, grava y arena crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo una consistencia denominada concreto. Está diseñado para su aplicación en todo tipo de elementos o estructuras de concreto simple o armado, desde proyectos familiares hasta la construcción de fraccionamientos, casas, edificios, obras municipales, etc.

CAPÍTULO 4. ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE MORTERO

4.1 Dosificación

Para la elaboración de los morteros, se realizaron un total de 15 mezclas las cuales servirán para comparar los resultados con diferentes tipos de áridos, con diferentes dosificaciones cemento-arena y cantidades de agua.

Se eligieron dosificaciones volumétricas cemento-arena; 1:5, 1:4 y 1:3, la primera dosificación tomando como referencia al fabricante del cemento de albañilería, el cual la especifica como dosificación mínima, además que en los conceptos del tabulador 2018 de obra pública en el estado de Chiapas, especifica que los morteros de pega deben ser de cemento-arena con dosificación 1:5. La dosificación 1:3 es la mínima recomendada por la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014. Y la 1:4 se tomará como dosificación intermedia entre las dosificaciones antes mencionadas.

La cantidad de agua para los morteros propuestos fue definida por su trabajabilidad, conforme lo establecido en la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014, la cual menciona que para morteros debe ser la cantidad de agua a juicio del operador de tal forma que se obtenga una mezcla trabajable, y que se encuentre entre los límites de revenimiento permisible (160 mm). Además, la misma norma menciona que la trabajabilidad es la propiedad más importante del mortero en estado fresco. Un mortero trabajable puede ser distribuido fácilmente en la superficie de trabajo, recibe las piezas de mampostería que se colocan sobre él, permitiendo su colocación y alineación, se adhiere a las superficies verticales y tiene la facilidad de ser expulsado fluidamente cuando el operario presiona la pieza superior para nivelar y alinear. La trabajabilidad es una combinación de varias propiedades que incluyen la plasticidad, consistencia, cohesión y adherencia. Esta propiedad es producto de la facilidad de movimiento entre sí de las partículas gruesas lubricadas por la pasta de cementantes. Aunque se ve afectada por la granulometría de la arena, la proporción de materiales y el aire incluido, el ajuste final de la trabajabilidad depende del contenido de agua. Por ello, para este caso para la comparación de propiedades de los morteros se procuró una trabajabilidad uniforme en todas las mezclas.

Las dosificaciones elaboradas se muestran a continuación:

Tabla 8. Mezclas 1:5 con cemento de albañilería.

Nomenclatura de mortero	Tipo de cemento	Tipo de arena	Dosificación volumétrica cemento-arena	Relación agua cemento (A/C)
A	Cemento de albañilería	A	1:5	1.5
A ₂	Cemento de albañilería	A ₂	1:5	1.1
B	Cemento de albañilería	B	1:5	1.6
C	Cemento de albañilería	C	1:5	1.6
N	Cemento de albañilería	N	1:5	1.1

Fuente: Elaborada por el autor

Tabla 9. Mezclas 1:5 con cemento portland compuesto

Nomenclatura de mortero	Tipo de cemento	Tipo de arena	Dosificación volumétrica cemento-arena	Relación agua cemento (A/C)
A _g	Cemento Portland Compuesto	A	1:5	1.5
N _g	Cemento Portland Compuesto	N	1:5	1.4

Fuente: Elaborada por el autor

Tabla 10. Mezclas 1:4 con cemento de albañilería

Nomenclatura de mortero	Tipo de cemento	Tipo de arena	Dosificación volumétrica cemento-arena	Relación agua cemento (A/C)
B _{1:4}	Cemento de albañilería	B	1:4	1
D _{1:4}	Cemento de albañilería	D	1:4	0.94
F _{1:4}	Cemento de albañilería	F	1:4	0.80
N _{1:4}	Cemento de albañilería	N	1:4	0.80

Fuente: Elaborada por el autor

Tabla 11. Mezclas 1:3 con cemento de albañilería y cemento gris

Nomenclatura de mortero	Tipo de cemento	Tipo de arena	Dosificación volumétrica cemento-arena	Relación agua cemento (A/C)
B _{1:3}	Cemento de albañilería	B	1:3	0.9
N _{1:3}	Cemento de albañilería	N	1:3	0.7
B _{1:3g}	Cemento portland	B	1:3	
N _{1:3g}	Cemento portland	N	1:3	

Fuente: Elaborada por el autor

4.2 Mezclado

Se realizó el mezclado de los materiales mediante a la NMX-C-486-ONNCCE-2014, la cual acepta el mezclado en seco de los sólidos hasta alcanzar un color homogéneo de la mezcla, y se puede usar en un lapso de 24 h. Los materiales se mezclarán en un recipiente no absorbente, prefiriéndose un mezclado mecánico (para este caso se empleó un mezclado manual). El tiempo de mezclado, una vez que el agua se agrega, no debe ser menos de 4 min, la consistencia del mortero se ajustará tratando de que alcance la mínima fluidez compatible con una fácil colocación, si el mortero empieza a endurecerse, puede re mezclarse hasta que vuelva a tomar la consistencia deseada agregándole un poco de agua si es necesario. Sólo se aceptará un remezclado.

CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

5.1 Resistencia a la compresión

Según la NMX-C-486-ONNCCE-2014, la resistencia a la compresión es el parámetro de comparación más común para evaluar la calidad de un mortero en laboratorio, sin embargo, no se debe asumir que los valores obtenidos en ensayos de compresión de probetas son exactamente los que tiene el material colocado entre o dentro de las piezas de mampostería. En general, la absorción de las piezas reduce el agua de la mezcla resultando en una mayor resistencia a la compresión del mortero ya colocado.

Se debe considerar que, en el caso del concreto, las propiedades de resistencia de una probeta cilíndrica representan adecuadamente la del material colocado en elemento estructural, mientras que, para el mortero, el ensayo de compresión de probetas sólo da una información cualitativa (definitivamente valiosa) de diversas características de este material. En efecto, la resistencia a la compresión de las probetas que representan la mezcla de mortero antes de colocación, es un parámetro comparativo de la calidad, resistencia, deformabilidad, absorción, impermeabilidad y durabilidad que finalmente tendrá el elemento estructural en conjunto.

Para la realización de los ensayos o pruebas de laboratorio, se elaboraron cubos de mortero (probetas o especímenes) de 5x5x5 cm, con mezclas de diferentes dosificaciones, de acuerdo con las tablas 7, 8, 9 y 10. Para cada caso, se elaboraron un mínimo de 6 probetas (ver imagen 29).

Los especímenes se dejaron reposar y con un proceso de curado, durante 7 y 28 días. Posteriormente, se procedió a realizar los ensayos a la compresión, con el equipo “Prensa eléctrica digital con marco de compresión de 120,000 kgf, marca ELVEC”, del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura de la UNACH (ver imagen 30). La fuerza aplicada con la prensa hidráulica, se relacionó con el área de cada probeta y con ello, obtener la resistencia a la compresión correspondiente (ver imagen 30).

Imagen 24. Probetas de mortero.



Fuente: Elaborada por el autor.

Imagen 25. Probeta de mortero sometido a fuerzas de compresión.



Fuente: Elaborada por el autor

5.2 Resultados de las pruebas de compresión

A continuación, se muestra el resumen de resultados obtenidos a las pruebas de compresión (en los anexos se encuentran los resultados detallados).

Tabla 12. Resultados obtenidos. Pruebas a compresión, probetas con cemento de albañilería, proporción 1:5

Nomenclatura de mortero	f'c kg/cm ² promedio (7 días)	f'c kg/cm ² promedio (28 días)
A	42.04	67.15
A ₂	48.39	136.65
B	42.30	63.23
C	47.16	73.92
N	29.29	40.61

Fuente: Elaborada por el autor

Tabla 13. Resultados obtenidos. Pruebas a compresión, probetas con cemento gris, proporción 1:5

Nomenclatura de mortero	f'c kg/cm ² promedio (7 días)	f'c kg/cm ² promedio (28 días)
A _g	83.61	125.53
N _g	53.56	62.37

Fuente: Elaborada por el autor

Tabla 14. Resultados obtenidos. Pruebas a compresión, probetas con cemento de albañilería, proporción 1:4

Nomenclatura de mortero	f'c kg/cm ² promedio (7 días)	f'c kg/cm ² promedio (28 días)
B _{1:4}	66.97	97.91
D _{1:4}	81.74	88.58
F _{1:4}	85.36	129.74
N _{1:4}	38.98	60.22

Fuente: Elaborada por el autor

Tabla 15. Resultados obtenidos. Pruebas a compresión, probetas con cemento de albañilería, proporción 1:3

Nomenclatura de mortero	f'c kg/cm ² promedio (7 días)	f'c kg/cm ² promedio (28 días)
B _{1:3}	78.34	115.18
N _{1:3}	54.76	83.75

Fuente: Elaborada por el autor

Tabla 16. Resultados obtenidos. Pruebas a compresión, probetas con cemento gris, proporción 1:3

Nomenclatura de mortero	f'c kg/cm ² promedio (7 días)	f'c kg/cm ² promedio (28 días)
B _{1:3g}	201.08	287.26
N _{1:3g}	211.26	301.80

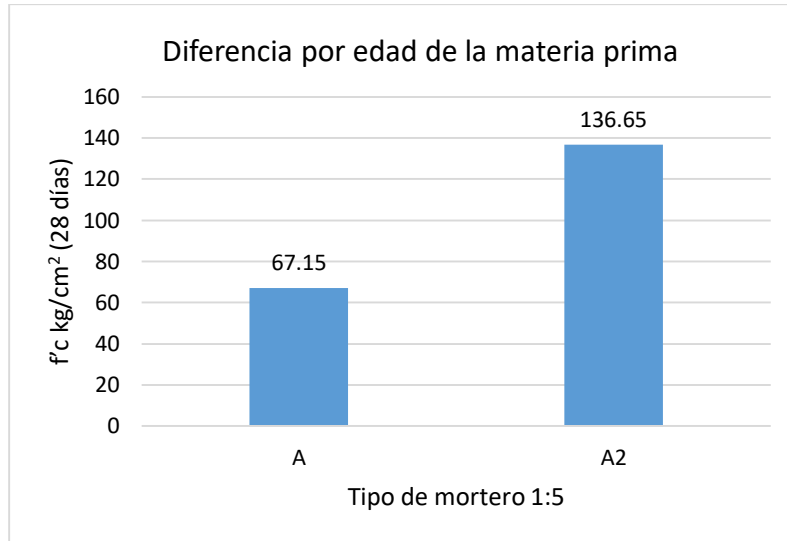
Fuente: Elaborada por el autor

5.3 Análisis de los resultados

- **Resultado de los análisis de las probetas con misma materia prima y diferente tiempo de elaboración.**

En el primer análisis, se comparan los morteros A y A₂, ambos tienen el mismo agregado (Arena tipo A, procedente de residuos de mortero de obra 1:5) y tienen la misma dosificación, sin embargo, el segundo mortero (A₂ = 136.65 kg/cm²), supera con el doble al primero (A = 67.15 kg/cm²) (ver gráfica 2).

Gráfica 2. Diferencia de esfuerzos a compresión por edad de la materia prima



Fuente: Elaborada por el autor

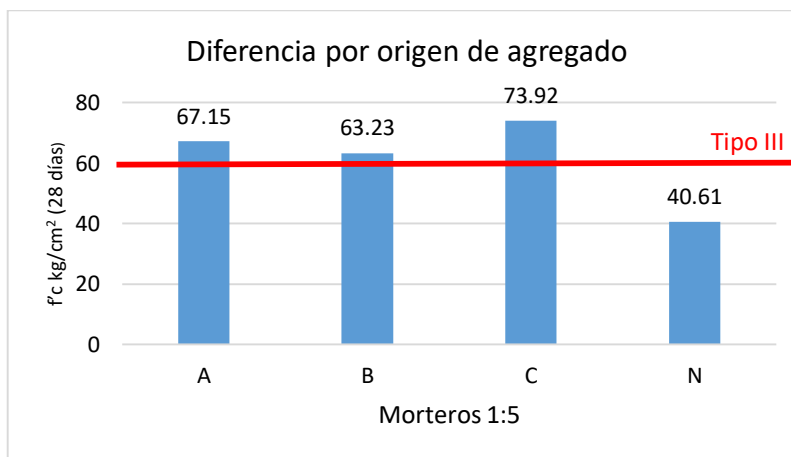
La diferencia reside en el tiempo de la elaboración de las probetas, a partir de la fecha en que se recolectó la materia prima en obra; es decir, cuando se elaboraron las probetas A₂, la materia prima del agregado reciclado aún tenía pocos días de ser recolectada en obra, por lo que, en cierta medida se encontraba en estado “fresco” y por lo que se aprecia, tuvo reacción positiva con los componentes nuevos (cemento y agua). En cambio, las probetas de mortero A, se elaboraron después de que la materia prima se encontrara en estado endurecido (después de 28 días), por lo que tuvo una reacción menor con los componentes nuevos. Es por ello que a partir de este análisis se optó por hacer todas las demás pruebas garantizando que el agregado reciclado tuviera más de un mes de edad, si no, todos los resultados serían positivos, debido a que entre más fresco el agregado reciclado, se consiguen mejores resultados al usarse en mezclas de cemento.

- **Resultado de los análisis de probetas con distinto agregado en dosificaciones 1:5.**

En este análisis se muestra que el uso de agregados reciclados tiene un efecto favorable en las mezclas de mortero. Los morteros con agregados reciclados (A, B y C), tienen una similitud entre ellos y se observa una diferencia favorable de la resistencia a compresión (A = 67.15 kg/cm², B = 63.23 kg/cm², C = 73.92 kg/cm²), por lo menos, 35% en comparación con el mortero testigo (N = 40.61 kg/cm², con agregado natural). Los morteros de esta sección fueron elaborados con cemento de albañilería con dosificación 1:5 y se aprecia que sólo los que cuentan con agregados reciclados superan la condición mínima en rubros de esfuerzos a compresión de la NMX-C-480-ONNCCE-2014 (mínimo 60 kg/cm²), bajo esa condición pueden ser considerados como mortero tipo III, a diferencia del mortero testigo que está debajo del rango mencionado (ver gráfica 3).

Estos resultados obtenidos con dosificaciones 1:5 de morteros con arena reciclada se asemejan a los obtenidos por Jamaica M. (2011), en donde obtuvo valores de 88.3 kg/cm² en morteros con la misma dosificación, cemento similar y agregados reciclados.

Gráfica 3. Resultados a los esfuerzos de compresión de probetas con diferente agregado con cemento de albañilería 1:5

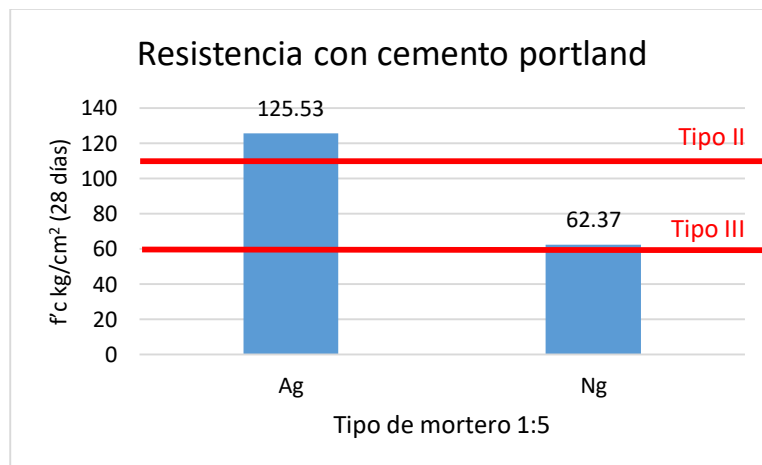


Fuente: Elaborada por el autor

- **Resultado de los análisis de probetas de mortero 1:5 con cemento gris.**

Se comprueba que la resistencia de morteros 1:5, es mayor si se emplea cemento portland que si se usa cemento de albañilería. En este análisis se aprecia que con cemento portland, el mortero con agregado natural (Ng) alcanza el valor mínimo de la norma de referencia considerándose tipo III (60 kg/cm²). También, se aprecia como mejoró notablemente el mortero con agregado reciclado, que alcanzó valores altos, por lo que se logró elaborar un mortero tipo II (mínimo 110 kg/cm²) (ver gráfica 4).

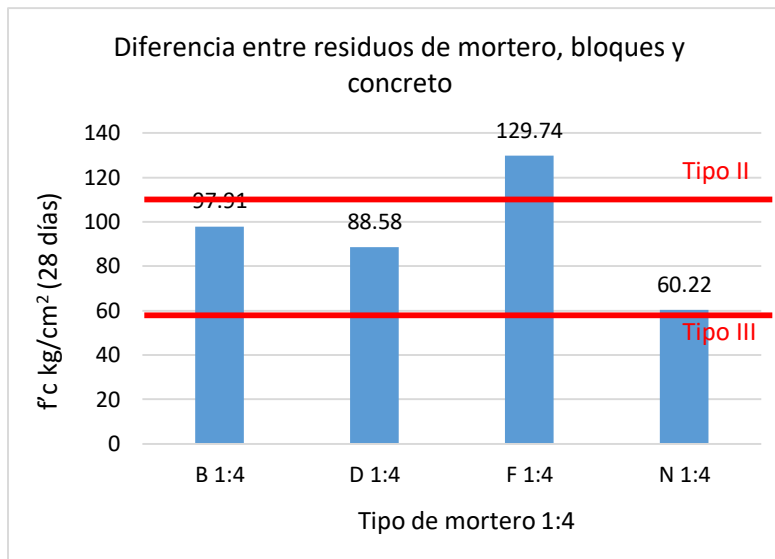
Gráfica 4. Resultados a los esfuerzos a compresión de probetas con cemento gris 1:5



Fuente: Elaborada por el autor

- **Resultados de los análisis de probetas con residuos de mortero, bloques y concreto.**

Gráfica 2. Resultados a los esfuerzos de compresión de probetas con dosificación 1:4 y cemento de albañilería.



Fuente: Elaborada por el autor

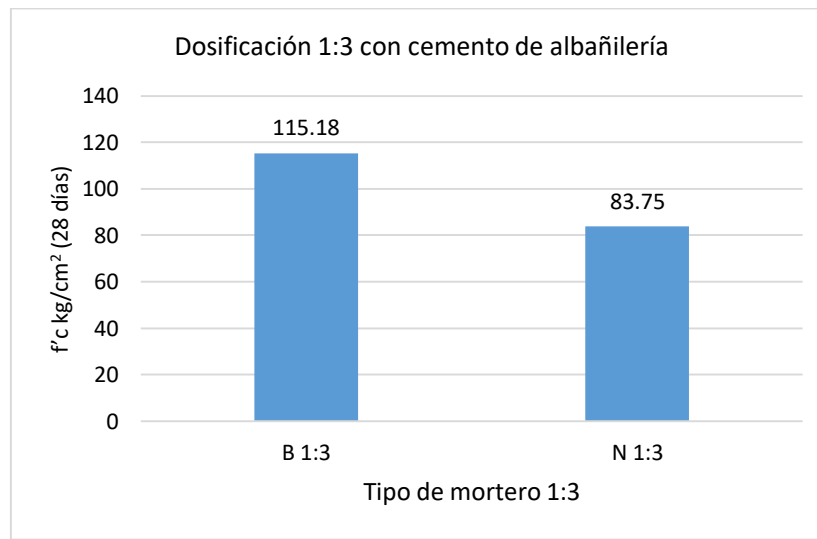
En la gráfica 5, se observa que en proporciones 1:4, con cemento de albañilería, existe un incremento de, por lo menos 32%, en comparación con el mortero testigo (porcentaje similar a las proporciones 1:5). Y como era de esperarse, el mortero F_{1:4} (elaborado con residuos de concreto), tuvo la mayor diferencia positiva en rubros de compresión que todos los demás morteros, superando al mortero testigo en un 53%, por medio de estas comparaciones se observa que la calidad de los residuos de construcción, influyen directamente en la resistencia final de los nuevos morteros, comportamiento observado también en investigaciones como la de Saiz P. (2015).

Analizando únicamente el resultado obtenido de morteros elaborados con residuos de concreto (mortero F_{1:4}) con valores promedio de 129 kg/cm², se encontró una similitud con investigaciones como la de Saiz P. (2015) y Álvarez J. et al. (1997), en donde obtienen resultados de 121 kg/cm² y 113 kg/cm² respectivamente, usando la misma dosificación, cemento similar y arena reciclada elaborada con residuos de concreto, los cuales según a la norma mexicana estarían dentro de la clasificación de morteros tipo II.

- **Resultados de los análisis de probetas con proporciones 1:3**

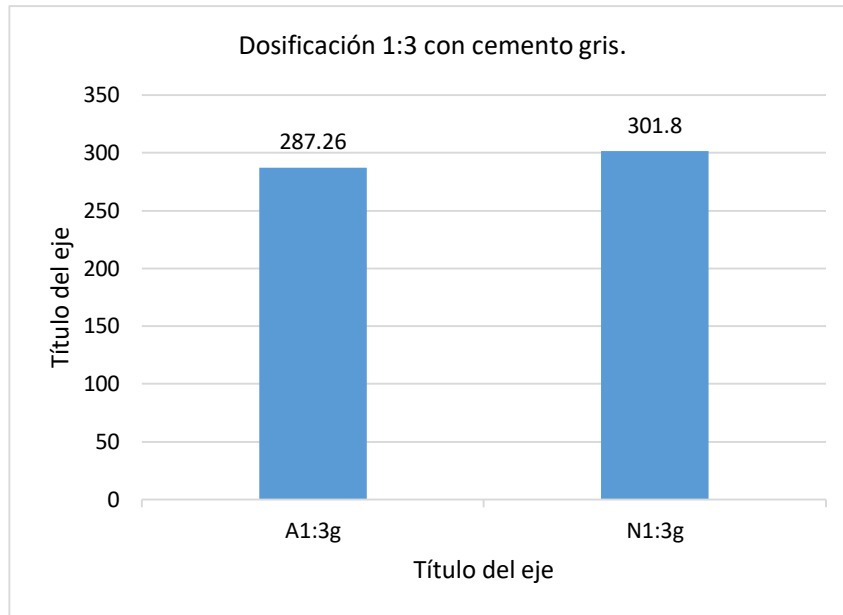
Con dosificación 1:3 y cemento de albañilería los morteros reciclados siguen superando la resistencia a compresión en comparación con el mortero natural, sin embargo, en un menor rango en comparación con todas las mezclas anteriormente analizadas (incremento de 27%) (ver gráfica 6).

Gráfica 3. Resultados a los esfuerzos a compresión de morteros 1:3 con cemento de albañilería.



Fuente: Elaborada por el autor

Gráfica 4. Resultados a los esfuerzos a compresión de morteros 1:3 con cemento gris.



Fuente: Elaborada por el autor

Para el caso de morteros 1:3 y con cemento gris, el mortero con agregado reciclado obtuvo propiedades menores que el mortero con agregado natural (ver gráfica 7).

Se observa como los morteros 1:3 de cemento gris (ver gráfica 7), superan drásticamente a los morteros con cemento de albañilería (ver gráfica 6), por lo que se comprueba que el cemento de albañilería no otorga mayor resistencia a la compresión a los morteros; además, se aprecia que ambos superan con gran diferencia a los morteros 1:5 (ver gráfica 4), y se observa que el incremento de ambos, se comporta de diferente manera como se aprecia en la siguiente tabla 16.

Tabla 2. Resistencia a la compresión de morteros 1:3 y 1:5 con cemento gris

Incremento en la resistencia a la compresión de morteros 1:3 y 1:5 con cemento gris.		
	1:5	1:3
Mortero con agregado reciclado	125.53 kg/cm ²	287.26 kg/cm ²
Mortero con agregado natural	62.37 kg/cm ²	301.8 kg/cm ²
Incremento (%)	50%	-5.1%

Fuente: Elaborada por el autor

- **Análisis de la diferencia de resistencias a la compresión.**

La arena reciclada presentó propiedades inferiores en los morteros que exigen altos valores en resistencia a la compresión (morteros 1:3), en cambio, en mezclas con bajos requerimientos en resistencia a compresión (1:4 y 1:5), los agregados reciclados influyeron positivamente.

Para entender este comportamiento, se realizó un análisis de los principales factores que influyen en la resistencia mecánica de las mezclas hidráulicas, mismos que a continuación se mencionan:

- Contenido de cemento: A mayor contenido de cemento, se puede obtener una mayor resistencia. Sin embargo, para este caso, las mezclas fueron utilizadas y comparadas con la misma cantidad de cemento, por ello, se descarta esta variable como factor determinante en la variación de esfuerzos a compresión.
- Relación agua cemento: Conocida por la “Ley de Abrams”, según la cual, para los mismos materiales y condiciones de ensayo, la resistencia del concreto completamente compactado, a una edad dada, es inversamente proporcional a la relación agua-cemento; es decir, entre menor agua tenga la mezcla, mayor será su resistencia a la compresión. Las mezclas analizadas tienen diferentes rangos de agua-cemento; al ser materiales diferentes (reciclados y naturales) no pueden

ser comparados con la misma relación; asimismo, se observa que los morteros con agregados reciclados consumen mayor cantidad de agua en comparación de los morteros con agregados naturales, por ello, lo anterior no es el motivo por el cual, los agregados reciclados tienen mejores propiedades que los naturales en proporciones 1:5 y 1:4.

- Influencia de los agregados: Las características de las partículas del agregado tales como el tamaño, la forma, la textura de la superficie y el tipo de mineral, influyen la resistencia de morteros y concretos (Mehta y Monteiro, 1998).

Por otra parte, se analizaron las probetas de manera visual y se observó comportamientos diferentes (ver imágenes 31 y 32).

Imagen 26. Estructura de la falla de una probeta de mortero con agregado natural.



Fuente: Elaborada por el autor

Imagen 27. Estructura de la falla de una probeta de mortero elaborada con agregado reciclado.



Fuente: Elaborada por el autor

En las probetas de arena natural, sus partículas no tienen recubrimiento de cemento, a diferencia de las de agregado reciclado, en donde se observa que las partículas están cubiertas de cemento (ver imágenes 31 y 32). Lo anterior, es indicativo que existe una falta de adherencia en las partículas de arena natural con el cemento. También se aprecia en la estructura interna de los morteros naturales, hay una menor presencia de aristas, a diferencia de los morteros reciclados, que tienen aristas pronunciadas con elevada rugosidad.

Al analizar las partículas de las arenas, se observó que cuentan con diferentes características; las partículas de arena natural tienen su origen en rocas de canto rodado, por lo que presentan aristas redondeadas y superficie lisa que se caracterizan por tener poca adherencia con el cemento (ver imagen 33).

En cambio, las partículas de agregado reciclado presentan una superficie rugosa y con una morfología irregular, con presencia de aristas definidas que dificultan el deslizamiento entre partículas e impiden la posibilidad de llegarse a desprender unas de otras (ver imagen 33).

Imagen 28. Partículas de arena natural que se retienen en la malla No. 8



Fuente: Elaborada por el autor

Imagen 29. Partículas de arena reciclada que se retienen en la malla No. 8



Fuente: Elaborada por el autor

Según Cabrera O. (2011), la forma y textura superficial de las partículas del árido fino son las responsables principales de la fricción mecánica interna de morteros y concretos.

Entonces, la diferencia de resistencia a compresión puede ser atribuido a la superficie de los agregados y su morfología, comportamiento que se ha observado en diversos trabajos de investigación como el de Özturan y Çeçen (1997), Dhang J. (2018) y Stefandou M. et al. (2012).

Özturan y Çeçen concluyen que la diferencia de resistencia a la compresión de dos concretos diferentes está determinada por la morfología y composición de sus agregados, Dhang J. (2018) explica por medio de una micrografía que, la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión del mortero elaborado con áridos reciclados estudiado en su investigación, son más altas que las de árido natural, debido a la zona de transición interfacial, que es la zona entre el agregado fino y el aglomerante. Se observa que los morteros con agregados reciclados tienen una zona de transición interfacial densa y estable con la unión fuerte y más compacta, debido a que tienen una superficie más rugosa que puede aumentar la adhesión de la pasta de cemento. Comportamiento similar en el caso de Stefandou M. et al. (2012) en donde también se obtiene mejores resultados en morteros con áridos reciclados y encuentran desprendimientos diferentes en pruebas mecánicas, de morteros con arena de río y morteros con arena reciclada, concluyendo que los morteros con arena reciclada tienen una fuerte cohesión entre los aglutinantes con los agregados.

CONCLUSIONES

A partir de los ensayos de laboratorio realizados a los diversos especímenes de morteros, elaborados con residuos de construcción y demolición (RCD) de edificaciones, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Todos los morteros con áridos reciclados cumplen con los requisitos de calidad mínimos establecidos por la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014 (60 kg/cm² de resistencia mínima a la compresión a 28 días). Por lo anterior, se puede afirmar que para la elaboración de mortero es factible reemplazar los agregados naturales por agregados provenientes de residuos de concreto.
2. En todos los casos los morteros tipo II y III, elaborados con residuos de concreto, superaron significativamente las propiedades mecánicas de los morteros testigo (agregado tipo N; arena del río Santo Domingo).
3. La diferencia del comportamiento mecánico entre morteros con arena reciclada y morteros con arena natural, reside en las características de las partículas de cada agregado tales como el tamaño, la forma, la textura de la superficie. El agregado reciclado resulta beneficioso para morteros tipo II y III (60 y 110 kg/cm², respectivamente) y perjudicial para morteros tipo I (mayores a 180 kg/cm²).
4. Se recomienda continuar con el análisis de morteros provenientes RCD, con otras dosificaciones cemento-agregado, con otros tipos de agregado y con las variables resultantes de esta investigación, ya que los resultados que se presentan han sido satisfactorios y con ello, se reconoce el potencial que tienen los residuos de construcción y demolición de edificaciones u obras en general, para usarse en nuevos proyectos orientados a propiciar un mayor control en el manejo de los RDC, la conservación de recursos, mejoramiento de la imagen urbana de la ciudad, la reducción de los residuos a partir del reciclado, la reutilización y la renovación de insumos para la construcción, entre otros beneficios.

BIBLIOGRAFÍA.

- Acosta D. (2002). Reducción y gestión de residuos de la construcción y demolición (RCD). *Tecnología y Construcción*. Vol. 18-II, 2002, pp. 49-68.
- Aguilar, A., Neftalí, M., & Gómez, J. (2017). *Physicochemical, Mineralogical and Microscopic Evaluation of Sustainable Bricks Manufactured with Construction Wastes*. *Applied Sciences* 2017, 7-10.
- Alegría J. (2010) “Elaboración de blocks con residuos de construcción obtenidos en Tuxtla Gutiérrez”, Tesis de licenciatura. UNICH. México.
- Álvarez Cabrera, J. (1997). Morteros de albañilería con escombros de demolición. *Materiales de construcción*, vol. 47, No. 246, 43-48.
- Berredjem L., Arabi N., Laurent M. & Brossault Y. (2018). “*Influence of recycled sand containing fillers on the rheological and mechanical properties of masonry mortars*”. *Journal of Materials and Environmental Sciences* Volume 9, Issue 4, Page 1255-1265.
- Braga M., Brito J. & Veiga R. (2012). *Incorporation of fine concrete aggregates in mortars*. *Construction and Building Materials*, Vol. 36, pp. 960–968. Recuperado de Doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.031>
- Cabrera O., Traversa L. & Ortega N. (2011). Estado fresco de morteros y hormigones con arenas de machaqueo. *Materiales de Construcción* Vol. 61, 303, 401-416. Recuperado de Doi: 10.3989/mc.2011.55609
- Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción [CMIC] (2013). Plan de manejo de residuos de la construcción y demolición (pp. 17-05-2019). México: Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.
- Çelik Ö., Ozyazgan C. (2017) “*Mechanical properties of mortar containing recycled asphalt*.” *GRAĐEVINAR*, 69 (2017) 10, pp. 933-940, Recuperado de doi: <https://doi.org/10.14256/JCE.1684.2016>

- CONEPU (2006). NORMA 4.01.01.029 (2001). Requisitos de calidad de residuos de la construcción reciclados. Coordinación Sectorial de Normas, Especificaciones y Precios Unitarios, México.
- Corinaldesi V. & Moriconi G. (2007) "*Effect of different recycled aggregates on mortar performance*". Sustainable Construction Materials and Technologies pp, 59-62.
- Dang J., Zhao J., Hu W., Du Z. & Gao D. (2018) "*Properties of mortar with waste clay bricks as fine aggregate*". Construction and building materials 166(2018) 898-907.
- Escarimosa Montalvo, L. F. (2015). *Vivienda rural y entorno saludable. Caso Ocuilapa de Juárez, Chiapas*. México: Universidad Autónoma de Chiapas, Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Chiapas, Edición: M. A. Porrúa
- European Demolition Association (EDA). (1992) *Demolition and Construction Debries: Questionnaire about an EC Priority Waste Stream. The Hague*
- Fernández E., Jiménez J., Ayuso J. & Fernández J. (2015). "*Maximum feasible use of recycled sand from construction and demolition waste for eco-mortars production*". Journal of cleaner production 87 (2015) 692-706
- Fernández E. (2016) "*Use of industrial waste in masonry mortar manufacturing*". Córdoba: Tesis doctoral. Universidad de Córdoba. España.
- Feys C., Joseph M., Boehme L. & Zhang Y. (2016). "*Assessment of fine recycled aggregates in mortar*". Central Europe towards Sustainable Building 2016.
- Granell, E. (2014). Concretos Reciclados. Experiencia empresarial de los RCD en México. *Memoria primer encuentro de Residuos de la Construcción y Demolición*. México.
- Guo M.-Z., Tu Z., Poon C., & Shi C. (2018). "*Improvement of properties of architectural mortars prepared with 100% recycled glass by CO₂ curing*." *Construction and Building Materials*, 179, 138–150. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.05.188

- Hernández, D., Rodríguez, J., Rodríguez, A., Macht, M., & Ramos, A. & E. (2008). El manejo de los residuos de la construcción en el Estado de México en el marco de la cooperación técnica alemana en México. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/23528829>.
- Hincapié Henao, Á. (2003). Agregado reciclado para morteros. *Revista Universidad EAFIT*, 76-89.
- Ismail S., Hamid M., & Yaacob Z. (2018). “*Influence of fine recycled concrete aggregates on the mechanical properties of high-strength mortars*”. doi:10.1063/1.5055461
- Jamaica M. (2011). “*Estudio de morteros con árido reciclado de hormigón*”. Barcelona: Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Catalunya. España.
- Jouchelevich, R. (1994). *Estudo revela desperdício na construção*. São Paulo. Recuperado de <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/1994/3/20/imoveis/2.html>
- Kallel T., Kallel A. & Samet B. (2016) “*Durability of mortars made with sand washing waste*”. *Construction and building materials* 122(2016) 728-735
- Katz A. & Kulisch D. (2017) “*Performance of mortars containing recycled fine aggregate from construction and demolition waste.*” *Materials and Structures* 50(2017) 1-16
- Kibert, Ch. *et al.* (1994) CIB-TG16, *First International Conference on Sustainable Construction*, Florida, USA.
- Klee, H. (2009). Reciclando concreto. Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible. Recuperado de http://ficem.org/publicaciones-CSI/DOCUMENTO-CSI-RECICLAJE-DEL-CONCRETO/RECICLAJE-D-CONCRETO_1.pdf
- López F. et al. (2017). “*Influence of the ceramic recycled aggregates in the masonry mortars properties.*” *Construction and Building Materials*, 132, 457–461. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.12.021
- López, R. A., Masckauchan, M., DiSalvo, C., Verga, J., & Graich, A. (2013). Caracterización tecnológica de morteros con escombros de albañilería molida. *Proyecciones*, Vol.11 No. 1, 91-99.

- Mehta K., Monteiro P. (1998). Concreto, estructura, propiedades y materiales, IMCYC, México, p. 38.
- Moreno Jaramillo, C. I. (2002). Hábitat y vivienda con criterios ambientales¹⁹. *Miradas al hábitat, Ensayos F.*, (Comentado por Escamirosa, 2015).
- NMX-C-486-ONNCCE (2014, noviembre 07). Norma Mexicana de la Industria de la Construcción para mortero de uso estructural. Especificaciones y Métodos de ensayo. *Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación S. C.*, México.
- NMX-C-021-ONNCCE (2010, noviembre 29). Norma Mexicana de la Industria de la Construcción cemento para albañilería (mortero). Especificaciones y Métodos de ensayo. *Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación S. C.*, México.
- Normas Técnicas Complementarias [NTC] (2017, diciembre 15). Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de mampostería (pp. 614-688). *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*. México: Gobierno de la Ciudad de México.
- NADF-007-RNAT-2013 (26 de febrero de 2015) Norma Ambiental para el Distrito Federal. Clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción y demolición, en el Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente. México.
- Ozturan, T. and Cecen, C. (1997) *Effect of Coarse Aggregate Type on Mechanical Properties of Concrete with Different Strengths. Cement and Concrete Research*, 27, 165-170. Recuperado de Doi:10.1016/S0008-8846(97)00006-9
- Pérez, S., & Vázquez, I. (2016). "Sustentabilidad en los márgenes del Río Santo Domingo, Chiapa de Corzo, Chiapas". Tuxtla Gutiérrez: Tesis de licenciatura UNACH. México.
- Pigueiras E. & Sierralta H. & Martínez I. (2013). "Evaluación de Morteros Estructurales Elaborados con Áridos Reciclados". RENIA. 4. 6.

- Pimentel L., Pissolato O., Paganelli A., & Sousa H. (2018). *Argamassa com areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil – Avaliação de características físicas e mecânicas*”. Matéria ISSN 1517-7076 artigo e-11969, 2018.
- Rangel Martínez, Y. (2012). “Procesos unitarios de recuperación de residuos de construcción, demolición, y jales de la minería: desarrollo de los materiales pétreos” Tesis doctoral de la Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. México.
- Restucciaa L., Spotoa C., Ferroa G., Tullianib J. (2016). “*Recycled Mortars with C&D Waste*”. *Procedia Structural Integrity* 2 (2016) 2896–2904
- Saiz P. et al (2015). “*Utilización de arenas procedentes de construcción y demolición, RCD, en la fabricación de morteros de albañilería*”. Madrid: Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Sakai, K, & Nouguchi, T. (2012) *The Sustainable Use of Concrete*. Recuperado de: *Doi*: <https://doi.org/10.1201/b12355>
- Sánchez Chavarría, V., González Herrera , R., Vera Toledo, P., Albores Arzate , R., & Escobar Castillejos, D. (2017). Problemática e impacto de los residuos de construcción y demolición en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Congreso Mesoamericano de investigación UNACH 2017*, 1524-1527.
- Santos Marián, D., Monercillo Delgado, B., & García Martínez, A. (2011). *Gestión de residuos en las obras de construcción y demolición*. Recuperado de <http://libreria.fundacionlaboral.org/ExtPublicaciones/GestionResiduos2.pdf>
- Stefanidou M., Anastasiou E., & Georgiadis K. (2012). “*Recycled sand in lime-based mortars*.” *Waste Management* Volume 34, pp 2595-2602. Recuperado de *Doi*: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.005>
- Vegas I. Azkarate I., Juarrero A. & Frías M. (2009). “*Diseño y prestaciones de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados procedentes de escombros de hormigón*.” *Materiales de Construcción* 59(295): 5-18 (2009). Recuperado de *Doi*: <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2009.44207>

Zhao Z., Remond S., Damidot D., Xu W. (2015). "*Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars.*" *Construction and Building Materials*, 81 (2015), pp. 179-186. Recuperado de Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.037>

ANEXOS

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MOREROS 1:5 (7 DIAS)								
Nomenclatura	Probeta	l (largo)	a (ancho)	h	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c kg/cm ² (7 días)	f'c kg/cm ² promedio
				(alto)				
A	1	4.97	5.02	5.03	24.9494	1070	42.89	42.04
	2	5	4.98	5.02	24.9	1050	42.17	
	3	5.13	4.89	5.06	25.0857	1030	41.06	
A2	1	5.06	5.1	5.02	25.81	1360	52.70	48.39
	2	5.06	5.11	5.02	25.86	1250	48.34	
	3	5.01	5.19	5.05	26.00	1350	51.92	
	4	5.02	5.12	5.04	25.70	1460	56.80	
	5	4.98	4.98	4.98	24.80	1000	40.32	
	6	5	4.97	5.06	24.85	1000	40.24	
B	1	5	5.14	5.02	25.7	1100	42.80	42.30
	2	5.04	5	5.02	25.2	970	38.49	
	3	5	4.98	5.01	24.9	1040	41.77	
	4	5.01	5.02	5.01	25.15	1290	51.29	
	5	5.02	5.1	5.04	25.60	1010	39.45	
	6	5	5.1	5.04	25.50	1020	40.00	
C	1	5.1	5	5.05	25.5	1390	54.51	47.16
	2	5.08	5.01	5.2	25.45	1160	45.58	
	3	5	5	5.04	25	1060	42.40	
	4	5.02	5.12	5.04	25.70	1080	42.02	
	5	5	5.05	5.01	25.25	930	36.83	
	6	5.02	4.98	5.01	25.00	1540	61.60	
N	N1	5.04	5.01	5	25.25	870	34.45	29.29
	N2	5	5.02	5	25.10	710	28.29	
	N3	5.01	5	5.02	25.05	750	29.94	
	N4	5.2	5.05	5	26.26	720	27.42	
	N5	5.04	5.12	5.03	25.80	740	28.68	
	N6	5.1	5.02	5.02	25.60	690	26.95	
Ag	1	5.01	5.01	5	25.1001	2140	85.26	83.61
	2	5	5.02	5.02	25.10	2080	82.87	
	3	5	4.91	5	24.55	2030	82.69	
Ng	1	5	4.97	5.07	24.85	1390	55.94	53.56
	2	5.02	5.1	5.02	25.602	1280	50.00	
	3	5	5.04	5.05	25.2	1380	54.76	

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MOREROS 1:5 (28 DIAS)								
Nomenclatura	Probeta	l (largo)	a (ancho)	h	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c kg/cm ² (28 días)	f'c kg/cm ² promedio
				(alto)				
A	1	5.4	4.95	5.04	26.73	1628	60.91	67.15
	2	4.93	5	5.03	24.65	1771	71.85	
	3	5	4.99	5.05	24.95	1714	68.70	
A2	1	4.96	5.1	5.03	25.30	2710	107.13	136.65
	2	5.03	4.95	4.98	24.90	2580	103.62	
	3	5	5.1	5.04	25.50	2720	106.67	
	4	5	4.98	5	24.90	2370	95.18	
	5	5.01	5.02	5	25.15	1660	66.00	
	6	5	5	5	25.00	1700	68.00	
B	1	5.1	4.93	5	25.143	1490	59.26	63.23
	2	5.02	4.97	5	24.9494	1600	64.13	
	3	5.1	5	5.04	25.5	1850	72.55	
	4	4.95	5.2	5.04	25.74	1720	66.82	
	5	5.01	5	5	25.05	1630	65.07	
	6	5	5.12	5.04	25.60	1320	51.56	
C	1	5	4.93	5.04	24.65	2070	83.98	73.92
	2	5.04	5.1	5.01	25.70	2080	80.92	
	3	5.06	4.97	5.04	25.1482	1780	70.78	
	4	5.02	5.05	5.01	25.35	1840	72.58	
	5	5	4.9	5.06	24.50	1700	69.39	
	6	4.96	5.02	5.02	24.90	1640	65.87	
N	N1	5.1	5	5.03	25.50	1230	48.24	40.61
	N2	5.04	5	5.03	25.20	930	36.90	
	N3	4.9	5	5.04	24.50	930	37.96	
	N4	4.94	5.1	5.05	25.19	920	36.52	
	N5	5.07	5	5	25.35	1000	39.45	
	N6	5.03	5.08	5	25.55	1140	44.61	
Ag	1	5.04	5	5.03	25.2	3150	125.00	125.53
	2	5	5	5	25.00	3190	127.60	
	3	5	5	5.1	25	3100	124.00	
Ng	1	5.1	4.96	5.04	25.296	1600	63.25	62.37
	2	5.05	5.05	5.02	25.5025	1590	62.35	
	3	5	5.04	5.02	25.2	1550	61.51	

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MOREROS 1:4 (7 DIAS)								
Nomenclatura	Probeta	l (largo)	a (ancho)	h	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c kg/cm ² (7 días)	f'c kg/cm ² promedio
				(alto)				
B 1:4	1	5.04	5.1	5	25.704	1920	74.70	66.97
	2	5	5.15	5.05	25.75	1570	60.97	
	3	5.03	5.15	5	25.9045	1690	65.24	
D 1:4	1	5	5.02	5.15	25.10	2080	82.87	81.74
	2	5	5.02	5.02	25.10	1980	78.88	
	3	5.03	5.05	5.01	25.40	2120	83.46	
F 1:4	1	5.1	4.98	4.94	25.398	2179	85.79	85.36
	2	5.13	4.9	5.04	25.14	2170	86.33	
	3	4.95	5.15	5.06	25.4925	2140	83.95	
N 1:4	1	5.02	5.07	5.1	25.4514	920	36.15	38.98
	2	5	5.02	5.01	25.10	1000	39.84	
	3	5.01	5.07	5.1	25.4007	1040	40.94	

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MOREROS 1:4 (28 DIAS)								
Nomenclatura	Probeta	l (largo)	a (ancho)	h	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c kg/cm ² (28 días)	f'c kg/cm ² promedio
				(alto)				
B 1:4	1	5	5.08	4.97	25.4	2490	98.03	97.91
	2	4.95	5.1	5.04	25.245	2460	97.45	
	3	5.13	5.02	5	25.7526	2530	98.24	
D 1:4	1	5	4.98	5.03	24.90	2150	86.35	88.58
	2	5	5	5	25.00	2210	88.40	
	3	4.97	5.02	4.99	24.95	2270	90.98	
F 1:4	1	5	5.1	5.01	25.5	3230	126.67	129.74
	2	5.11	5	5.06	25.55	3120	122.11	
	3	5.12	5.02	5	25.7024	3610	140.45	
N 1:4	1	5.1	4.96	4.99	25.296	1490	58.90	60.22
	2	5.03	5.12	5.03	25.7536	1530	59.41	
	3	5	5.1	5.06	25.5	1590	62.35	

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MOREROS 1:3 (7 DIAS)								
Nomenclatura	Probeta	l (largo)	a (ancho)	h	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c kg/cm ² (7 días)	f'c kg/cm ² promedio
				(alto)				
B1:3	1	5.03	5.11	5.02	25.70	1950	75.87	78.34
	2	4.98	5.1	5.05	25.40	1960	77.17	
	3	4.96	5.14	5.05	25.49	2090	81.98	
N1:3	1	5.03	4.96	5.01	24.95	1350	54.11	54.76
	2	5	5	5	25.00	1380	55.20	
	3	5	5.02	5.05	25.10	1380	54.98	
B1:3g	1	5.03	5.03	5	25.3	4860	192.09	201.08
	2	5.03	5.03	5.03	25.3	4760	188.14	
	3	5.02	5.02	5.04	25.2	5620	223.01	
N1:3g	1	4.97	5.05	5.02	25.09	5600	223.19	211.26
	2	5.01	4.9	5.06	24.54	4670	190.30	
	3	5	4.93	5.01	24.65	5430	220.28	

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MOREROS 1:3 (28 DIAS)								
Nomenclatura	Probeta	l (largo)	a (ancho)	h	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c kg/cm ² (28 días)	f'c kg/cm ² promedio
				(alto)				
B1:3	4	5	5.06	5	25.30	2880	113.83	115.18
	5	4.99	5.1	4.97	25.45	3000	117.88	
	6	5.1	5.03	5	25.65	2920	113.83	
N1:3	4	5.02	5.04	5.02	25.30	2010	79.44	83.75
	5	5.05	5.01	5.09	25.30	2200	86.95	
	6	4.95	5	5	24.75	2100	84.85	
B1:3g	4	4.96	5.1	5.03	25.30	7210	285.03	287.55
	5	5.03	4.95	4.98	24.90	7420	298.01	
	6	5	5.1	5.04	25.50	7130	279.61	
N1:3g	4	5	4.97	5.06	24.85	7430	298.99	301.81
	5	5	5.14	5.02	25.70	7580	294.94	
	6	5.04	5	5.02	25.20	7850	311.51	