

UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MORELOS  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES

REINTEGRACIÓN DE LOS RCD COMO AGREGADO GRUESO CON BASE AL ANÁLISIS  
DE SUS RESISTENCIAS MECÁNICAS EN CONCRETO  $F'c= 200 \text{ Kg/cm}^2$

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES**

PRESENTA

**ARQ. PAOLA JUDITH JIMENEZ ROSAS**

ASESOR: DR. JESÚS MARIO COLÍN DE LA CRUZ

CO-ASESORA: DRA. MARIA DEL CARMEN TORRES SALAZAR

CUERNAVACA, MORELOS

JUNIO 2022

## AGRADECIMIENTO A CONACYT

El presente proyecto se realizó bajo la asesoría del Dr. Jesús Mario Colín de la Cruz y con la co-asesoría de la Dra. María de Carmen Torres Salazar con el apoyo financiero del Programa de Becas Nacionales de Posgrado, otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

## AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

A la familia Ponce Castro, por apoyarme en la etapa de pruebas en el laboratorio TRABE LAB en Puebla. Brindándome el acceso a sus instalaciones, así como el equipo, herramienta y material necesario para poder realizar los ensayos mecánicos requeridos para la comprobación de la hipótesis del presente trabajo.

A mis padres por la paciencia, el apoyo incondicional, la formación y los valores inculcados, sin los cuales no tendría un sentido de responsabilidad y rigor educativo que me permitieran seguir preparándome académica y profesionalmente.

A mi hija Valentina por ser un constante estímulo para seguir creciendo en todos los ámbitos y así poder llegar a ser un ejemplo para ella.

A mi familia y amigos, que aunque no terminaron de entender lo que hacía, me acompañaron y estuvieron presentes durante todo el proceso.

A Jaime por convencerme de aplicar a la maestría.

## CONTENIDO

<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>5</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>6</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	<b>7</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>8</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>8</b>
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>9</b>
<b>CAPITULO 1</b> .....	<b>10</b>
1.1. ANTECEDENTES.....	11
1.2. MARCO TEORICO.....	16
1.2.1. <i>Prevención y gestión integral de Residuos: Residuos de Manejo Especial</i> .....	16
1.2.2. <i>Residuos de Manejo Especial: Residuos de la Construcción y Demolición</i> .....	20
1.2.3. <i>Residuos de la Construcción y Demolición: Composición del escombros</i> .....	21
1.2.3.1. Generación de Residuos de la Construcción y Demolición.....	24
1.2.3.2. Impactos al ser humano.....	27
1.2.3.3. Impactos al Medio Ambiente.....	28
1.2.4. <i>Demolición y recolección selectiva</i> .....	30
1.2.5. <i>Reciclaje</i> .....	32
1.2.5.1. Tipos de reciclaje.....	33
1.2.6. <i>Economía circular y Logística Inversa</i> .....	34
1.2.6.1. De lo lineal a lo circular.....	34
1.2.6.2. Importancia de la logística inversa.....	38
<b>CAPITULO 2</b> .....	<b>40</b>
2.1. JUSTIFICACION.....	41
2.2. OBJETIVOS.....	42
2.2.1. <i>Objetivo General</i> .....	42
2.2.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	42
<b>CAPITULO 3</b> .....	<b>43</b>
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	44
3.2. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL.....	45
3.3. MATERIALES Y MÉTODO.....	46
<b>CAPITULO 4</b> .....	<b>52</b>
4.1. RESULTADOS.....	53
4.1.1. <i>Análisis estadístico</i> .....	55
4.2. DISCUSION.....	56
<b>CAPITULO 5</b> .....	<b>57</b>
5.1. CONCLUSIONES.....	58
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>59</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los residuos de construcción y demolición.....	23
Tabla 2. Estimación de la generación de residuos de la construcción en el 2018 para México.....	25
Tabla 3. Principales residuos peligrosos de la demolición.....	28
Tabla 4. Nomenclatura de las mezclas .....	44
Tabla 5. Proporcionamiento de los agregados del concreto bajo estudio. ....	48
Tabla 6. Resistencia a la compresión promedio de las muestras de RCD según su composición .	53

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disposición inadecuada de RCD en terrenos de cultivo.....	13
Figura 2. Disposición inadecuada de RCD en vía pública.....	13
Figura 3. Generación anual promedio de RME en México, 2006-2012.....	19
Figura 4. Estimación porcentual del volumen de RCD generado según su composición.....	21
Figura 5. Material producto de excavación.....	22
Figura 6. Otros (Placas de yeso).....	22
Figura 7. Concreto.....	22
Figura 8. Otros (Materiales féreos).....	22
Figura 9. Elementos mezclados prefabricados y pétreos.....	22
Figura 10. Escenarios de proyección de la generación de los RCD. (En millones de toneladas por año Mton/año).....	24
Figura 11. Disposición en vía pública de escombros generados por el sismo de 2017.....	26
Figura 12. Esquema de funcionamiento de la economía lineal.....	34
Figura 13. Diagrama de funcionamiento de la economía circular.....	36
Figura 14. Gráfico representativo de la Logística inversa.....	39
Figura 15. Prensa de compresión Davisa 150t.....	47
Figura 16. Báscula.....	47
Figura 17. Cribas.....	47
Figura 18. Moldes cilíndricos de PVC Ø 3”.....	47
Figura 19. Cemento Portland Cemex-Tolteca (derecha) y agregado fino/arena (izquierda).....	47
Figura 20. Agregado grueso de primera (izquierda) y agregado grueso reciclado (derecha), ambos con un tamaño máximo de 3/4”.....	47
Figura 21. Selección y recolección de residuos provenientes de elementos de concreto simple...48	
Figura 22. Selección de material por medio de cribado y limpieza de los mismos.....	48
Figura 23. Mezclas MA, MB, MC, MD, ME.....	49
Figura 24. Cuarto húmedo en donde fueron depositadas las muestras para el proceso de curado de las mismas.....	50
Figura 25. Indicador de temperatura (21.8 °C) y humedad (95%) al interior del cuarto.....	50
Figura 26. Ensayo compresivo sobre la muestra MA1. De izquierda a derecha se observa la colocación inicial, el desarrollo del ensayo y la fractura de la muestra. El procedimiento se replica para todas las muestras.....	50
Figura 27. Cuarto de ensayos. Interior del cuarto de ensayos del laboratorio Trabelab, con ubicación en la ciudad de Puebla, Pue.....	51
Figura 28. Esfuerzo de Fractura vs Contenido de RCD.....	53
Figura 29. Muestras ensayadas. Presentan visibles fisuras en forma diagonal, lo cual es adecuado para este tipo de materiales.....	54
Figura 30. Porcentaje de disminución de resistencia según el esfuerzo de fractura promedio.....	54

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**CMIC**- Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción

**DOF**- Diario Oficial de la Federación

**INECC**- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

**LGEEPA**- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

**LGPGIR**- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos

**OCDE**- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

**RCD**- Residuos de la Construcción y Demolición

**RME**- Residuos de Manejo Especial

**RSU**- Residuos Sólidos Urbanos

**SEDEMA**- Secretaría de Medio Ambiente

**SEMARNAT**- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

## **RESUMEN**

La disposición de Residuos de la Construcción y Demolición (RCD) en México, constituye un problema tan normalizado como poco atendido. El manejo inadecuado de dichos desperdicios provoca que éstos no se aprovechen adecuadamente, sino que tienen como destino final sitios clandestinos como terrenos baldíos o áreas ecológicas, creando con ello diversos impactos tanto al ser humano como al medio ambiente. El presente trabajo analiza el uso de RCD como agregado grueso dentro de un concreto  $F'c=200 \text{ kg/cm}^2$ , a través de ensayos compresivos que determinaron el esfuerzo de fractura y la máxima resistencia a la compresión. Concluyendo que existe la posibilidad de que éste residuo sea utilizado con éxito dentro de dicho concreto.

## **ABSTRACT**

Construction and demolition waste (CDW) disposal is little attended problem in México. Inadequate management of such waste causes it not to be used in a properly manner but instead, has its final destination in clandestine sites such as vacant lots or ecological areas creating various impacts on both human beings and the environment. The present work analyzes the use of CDW as coarse aggregate within a concrete  $F'c=200 \text{ kg/cm}^2$ , through compression test that determined the fracture stress and the maximum compression resistance. It was found a possibility that this residue can be used successfully within said concrete.

## INTRODUCCION

Desde el inicio de la humanidad, una de las principales necesidades del hombre ha sido la búsqueda constante de refugio; al principio el resguardo de las inclemencias del clima así como de los posibles depredadores era el único requerimiento. Con el surgimiento de la agricultura, los refugios temporales pasaron a convertirse en asentamientos con necesidades más complejas y cada vez más especializadas hasta convertirse, con el paso del tiempo, en los poblados y las ciudades actuales. Pero el crecimiento de la mancha urbana y la población que en ella habita, que inicialmente fueron considerados como sinónimo de prosperidad y desarrollo, en las últimas décadas se han convertido en un grave problema a nivel mundial; y esto debido a que a mayor población, mayor es la demanda de vivienda y servicios que requieren infraestructura especializada, lo que da paso a una constante actividad dentro de la industria constructiva.

Se ha observado, que el desecho producido dentro de las construcciones, en su mayoría residuos o fragmentos de material proveniente de las demoliciones, remodelaciones o cualquier actividad relacionada con la construcción, conocido comúnmente como ‘escombros’, representa un problema tan normalizado como poco atendido. Si bien existen tiraderos del mismo, la mayoría de ellos solo recuperan cierto porcentaje de desperdicio, que puede reincorporarse, previo tratamiento, dentro de otras industrias, ejemplo de ello es el acero, pero el resto de los materiales no son aprovechados y muchos de ellos se disponen a manera de relleno sanitario en sitios inadecuados.

Es por ello que, con base al análisis de las resistencias mecánicas obtenidas de los materiales tomados del desecho de la construcción, se estudió el posible reciclaje de los mismos, reincorporándolos como materia prima de un básico muy utilizado dentro del proceso de edificación: el concreto.

# **CAPITULO 1**

## 1.1. ANTECEDENTES

Existe la impresión de que el reciclaje de materiales es una actividad relativamente reciente, ya que en las últimas décadas ha venido ganando aceptación y popularidad como una forma de disminución de la cantidad de residuos que necesitan disposición final en rellenos sanitarios, y de reducción del impacto ambiental negativo de las actividades productivas y de consumo por medio de las cuales las sociedades contemporáneas satisfacen sus necesidades, pero ésta práctica es mucho más antigua de lo que generalmente se reconoce. Cuando los humanos llevaban una existencia nómada, la disposición de residuos sólidos muy probablemente no presentaba problemas, ya que los desechos simplemente se dejaban en las áreas donde se realizaba el consumo. Pero al crearse asentamientos permanentes en el periodo neolítico, los residuos tenían que disponerse de alguna forma, fue entonces cuando se dieron cuenta de que algunos de los desechos podían ser reciclados, ya que el reciclaje requiere menos tiempo y esfuerzo que su obtención de materiales vírgenes.

El reciclaje de materiales floreció durante el siglo XIX, gracias a los procesos de urbanización e industrialización acelerados, que desempeñaron un papel importante en el desarrollo de las actividades de reciclaje. Las actividades industriales aumentaron la demanda de materias primas, mientras que los asentamientos humanos crecientes producían cantidades también crecientes de residuos que podían recuperarse de la basura y venderse a la industria (Medina, 1999).

Actualmente, la mayoría de las actividades de reciclaje en el mundo tienden a realizarse por medio de programas oficiales administrados por las municipalidades y que siguen políticas públicas establecidas a nivel estatal o nacional.

La necesidad de reciclaje de los residuos de construcción no solamente concierne a las comunidades más industrializadas, sino también a una demanda global con diferentes prioridades.

El reciclado de los Residuos de la Construcción y Demolición (RCD) en los últimos años se ha extendido prácticamente a todos los países, teniendo como fundamento razones de valorización comercial como medioambientales. Los cambios en el funcionamiento de la economía global provocan de forma cíclica, la obsolescencia de edificaciones industriales,

comerciales, obras de infraestructura urbana, vial, etc.; de igual manera las afectaciones provocadas por los fenómenos naturales como huracanes o movimientos telúricos de los últimos años, han dado lugar a una intensa actividad de demolición.

Muchos países industrializados, como Los Países Bajos, experimentan a partir de estas prácticas de reciclaje, el ahorro de recursos por medio del uso de materias primas secundarias, esto debido al aumento del costo de la eliminación de desechos, a la extracción de materia prima natural y a la fuerte iniciativa por parte de las autoridades y las industrias, en donde más del 90% de dichos materiales son utilizados dentro de las capas que componen la construcción de vías carreteras, específicamente la sub base (Hendriks & Janssen, 2001), así como agregados en la fabricación de concreto nuevo (Akash Rao, 2007). Desde el punto de vista ambiental, el reciclaje de escombros es bastante atractivo porque aumenta la vida útil de los rellenos sanitarios al disminuir el volumen de desechos dispuestos dentro de ellos y, evita la degradación de recursos naturales no renovables como los suelos de extracción de materia prima; pero, desde el punto de vista netamente económico, el concreto reciclado resulta atractivo cuando el producto es competitivo con otros materiales en relación al costo y a la calidad. Los materiales reciclados son normalmente competitivos donde existe dificultad para obtener materias primas y lugares de depósito adecuados (Mauricio, 2003).

Sin embargo, éste fenómeno de reciclaje de materiales de la construcción no es nuevo, ya que en tiempos de posguerra, los países europeos se encontraron bajo crisis económica y una gran acumulación de escombros, que fueron aprovechados para ser utilizados como elementos constructivos de las nuevas edificaciones, obteniendo buenos resultados, pero es en los Estados Unidos donde inician las primeras investigaciones en reciclado (Marcelo Tonda, 2008).

El reciclaje de residuos de la construcción es, por lo tanto, de especial interés en grandes proyectos relativos a la rehabilitación y reconstrucción después de desastres y guerras. (Erik K. Lauritze, 1992). Pero su uso e interés no debe encontrarse limitado únicamente a éste tipo de zonas, también debe serlo en lugares con afectaciones nulas, ya que son muchas las porciones de paisaje que se han ido deteriorando al punto de pérdida debido a la extracción de materias primas para la confección de materiales para la construcción, como también los

problemas de su vertido, que afectan no sólo de manera estética, sino la vida útil de los rellenos sanitarios y, por consiguiente, las condiciones de habitabilidad urbana. El problema que provoca su acumulación afecta tanto a grandes como a pequeños países.

Por ello, la necesidad de reciclar los escombros que produce la industria de la construcción está tomando, hoy en día, gran importancia, puesto que sus residuos no se aprovechan adecuadamente, sino que en su mayoría, tienen como sitio de disposición final, lugares clandestinos como terrenos baldíos o áreas ecológicas



*Figura 1. Disposición inadecuada de RCD en terrenos de cultivo*

(Fig.1) y en el mejor de los casos puede llegar a utilizarse como relleno para nivelación y mejoramiento de terrenos a construir. Teniendo como resultado una mala imagen urbana y contaminación (Fig.2), además de pérdidas económicas, ya que con el uso de los materiales reciclados, se pueden obtener grandes ahorros en el



*Figura 2. Disposición inadecuada de RCD en vía pública*

transporte de residuos de la construcción de materias primas (Mauricio, 2003). Esto se nota especialmente en el desarrollo urbano o en los proyectos de reconstrucción en donde se reúnen la demolición y la nueva construcción, y donde es posible reciclar una gran cantidad de residuos de la construcción en el mismo lugar de trabajo o en las proximidades (Erik K. Lauritze, 1992).

Una manera de coadyuvar a preservar el medio ambiente y los recursos, es reinsertando estos desechos en el ciclo de vida de la construcción a través del reciclaje. (Méndez de los Santos Noemí, 2010). Y una forma de lograrlo es por medio del uso de materiales reciclados en elementos constructivos, así como en las mezclas de concreto, que es una tendencia que se viene manejando desde hace varias décadas y se ha demostrado que cierto tipo de escombros ayudan a mejorar el desempeño mecánico, la durabilidad y la trabajabilidad del concreto al ser usado como agregado fino o grueso.

Un ejemplo de estas prácticas de reciclaje se observa en Colombia, en donde se analizaron de manera comparativa las propiedades físicas y mecánicas de los agregados reciclados, con respecto a los agregados naturales que se utilizan normalmente en el área de la construcción, esto con la finalidad de demostrar la viabilidad de su uso en la fabricación de concreto (Mattey Centeno Pedro Enrique, 2014). Otro ejemplo de esto se encuentra en Quintana Roo, México, en cuyo caso de estudio se incorporaron RCD como agregados fino y grueso dentro de la fabricación de bloques, adoquines y mosaicos, obteniendo buenas clasificaciones y resistencias. Aunque los elementos constructivos en algunos casos no cumplieron completamente con las normas correspondientes, especialmente en el caso de la absorción, si son competitivos con los materiales naturales utilizados en la zona (Emilio, 2007).

Se puede decir que el tipo y cantidad de residuos de la construcción generados dependen de las características constructivas y del nivel económico de cada país, lo que podría influir directamente con el uso y la variedad de alternativas para la integración de estos materiales dentro del ciclo del reciclaje. Mientras en los países desarrollados se insiste en fabricar concreto reciclado a partir de concreto original, clasificando inclusive a otros materiales como los morteros y tabiques como contaminantes, en América Latina se hacen esfuerzos por reciclar materia prima más heterogénea debido a la falta de demolición selectiva que dificulta su separación.

Pero la dificultad en la separación, no es el único tema, la aceptación o no del concreto reciclado por parte de la población es un aspecto todavía muy ligado a la tradición; no es suficiente con presentar un excelente material ecológico, sino que, además, hay que comprender que las comunidades para las cuales los profesionales diseñan estos materiales

poseen organizaciones sociales y preceptos culturales que inciden en la forma de ver las cosas. Entender estas dinámicas se convierte entonces en el primer paso, necesario para determinar si se continúa con la misma propuesta técnica o se cambia por otra; cómo se puede acercar, de manera formativa, la sociedad hacia el producto, de tal manera que sea visto como un buen hábito, convirtiéndose con el tiempo en hecho cultural, tal como ha venido sucediendo en muchas comunidades europeas.

Se ha encontrado que, los problemas de estas propuestas basadas en nuevos materiales o materiales no convencionales/reciclados son:

- La resistencia al cambio de hábitos por parte de constructores y usuarios.
- La inclinación de las autoridades municipales por mantener las políticas actuales para la disposición de escombros y extracción de materiales para la construcción, pues de esta manera no necesitan buscar nuevas vías para solucionar el conflicto generado por este tipo de residuos.
- La idea de que este material confeccionado con residuos, es para pobres. Es decir, que se ve en su uso un motivo para una estigmatización social.
- Y la falta de existencia de una crisis de agotamiento de canteras para extraer materias primas (Mauricio, 2003).

Es preocupante que el problema generado por la gran cantidad de RCD sea visto desde la perspectiva de autorizar sitios para su disposición final, sin llegar a propuestas para implementar un programa de gestión integral de éstos residuos, sino que además proponga su reutilización y/o el reciclaje para la producción de materias secundarias que reemplacen los agregados naturales no renovables empleados en la confección de mezclas y elementos constructivos de concreto.

La propuesta de un nuevo concreto basado en la sustitución de recursos no renovables por materias primas provenientes del reciclado de escombros es totalmente válida, si recordamos que el concreto en nuestro país es el material de construcción más utilizado.

Sin embargo, en México, a pesar del conocimiento de la problemática, poco se ha hecho al respecto.

## 1.2. MARCO TEORICO

### 1.2.1. Prevención y gestión integral de Residuos: Residuos de Manejo Especial

Dentro del art.4° de la Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos se establece que, “Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley.” (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [Const], 1917)

La preocupación por los riesgos a la salud y al ambiente derivados del manejo inadecuado de los residuos tóxicos adquirió niveles internacionales al difundirse casos de intoxicación severa provocados por el vertimiento al mar de desechos industriales que contenían mercurio o de residuos mineros que contenían cadmio a las aguas de un río utilizadas para irrigar cultivos agrícolas (en Japón), o por el entierro de solventes orgánicos volátiles y otros residuos tóxicos industriales en un depósito subterráneo sobre el que se construyeron casas habitación y escuelas en Estados Unidos.

Para garantizar este derecho y responder a la preocupación pública al respecto, el 28 de enero de 1988 se promulgó la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) que estableció la concurrencia de los órdenes de gobierno en materia ambiental, de igual manera se introducen las primeras disposiciones regulatorias de la generación y manejo de los residuos peligrosos, corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables y biológico-infecciosos, las cuales se complementaron con las contenidas en el Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos y en siete normas técnicas ambientales (hoy normas oficiales mexicanas). Esta legislación regulaba principalmente a las actividades productivas generadoras de estos residuos, hasta que el 8 de octubre del 2003 se publicó la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), que derogó las disposiciones de la LGEEPA en la materia ([DOF], 2009). Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos, prevenir la contaminación de sitios con los mismos y llevar a cabo su remediación. (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, LGPGIR, 2003)

La LGPGIR reconoció el riesgo que representa la generación de residuos peligrosos en los hogares, los cuales no necesariamente se disponen en rellenos sanitarios en los que se prevenga su liberación fuera de los sitios en los que éstos se encuentran, sino en tiraderos de basura a cielo abierto, con el consecuente riesgo para la salud de la población y para los ecosistemas, esto llevó a introducir disposiciones regulatorias que aplican a los residuos peligrosos domésticos y a todo tipo de generadores, sean micro, pequeños o grandes generadores. Asimismo estableció tres tipos de residuos: peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial ([DOF], 2009).

Según la LGPGIR, los Residuos de Manejo Especial (RME) son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos. Y se clasifican en:

- I. Residuos de las rocas o los productos de su descomposición que sólo puedan utilizarse para la fabricación de materiales de construcción o se destinen para este fin, así como los productos derivados de la descomposición de las rocas, excluidos de la competencia federal conforme a las fracciones IV y V del artículo 5 de la Ley Minera;
- II. Residuos de servicios de salud, generados por los establecimientos que realicen actividades médico-asistenciales a las poblaciones humanas o animales, centros de investigación, con excepción de los biológico-infecciosos;
- III. Residuos generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, incluyendo los residuos de los insumos utilizados en esas actividades;
- IV. Residuos de los servicios de transporte, así como los generados a consecuencia de las actividades que se realizan en puertos, aeropuertos, terminales ferroviarias y portuarias y en las aduanas;
- V. Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales;
- VI. Residuos de tiendas departamentales o centros comerciales generados en grandes volúmenes;
- VII. Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general;

VIII. Residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores y otros que al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo específico;

IX. Pilas que contengan litio, níquel, mercurio, cadmio, manganeso, plomo, zinc, o cualquier otro elemento que permita la generación de energía en las mismas, en los niveles que no sean considerados como residuos peligrosos en la norma oficial mexicana correspondiente;

X. Los neumáticos usados, y

XI. Otros que determine la Secretaría de común acuerdo con las entidades federativas y municipios, que así lo convengan para facilitar su gestión integral.

Sin embargo, la información sobre la generación y manejo de este tipo de residuos es limitada y se restringe a unos cuantos tipos de estos residuos. Los datos más actualizados sobre la generación y manejo de algunos RME en el país son del año 2012, publicados como parte del Diagnóstico Básico para la Gestión de los Residuos en 2016. (SEMARNAT, Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde, 2016).

Debido a la reciente regulación de este tipo de residuos, en la actualidad sólo se cuenta con información de los volúmenes de generación para ciertos tipos, obtenidos a través de estudios específicos. El Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos, publicado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) en 2012, reporta que para el periodo 2006-2012, la disponibilidad de información sobre la generación de RME sólo abarca seis de las once<sup>1</sup> categorías en las que la LGPGIR los clasifica, además de una categoría adicional para otros tipos de residuos. Para el citado periodo, el mayor volumen de generación anual promedio correspondió a las excretas de ganado (porcino y bovino lechero; cerca de 66.7 miles de toneladas), seguido por papel y cartón (6,820 toneladas) y **los residuos de la construcción y demolición (6,111 toneladas)**. En contraste, los RME que se produjeron en menor volumen anual promedio fueron los electrodomésticos (22 toneladas), las pilas (34 toneladas) y los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (232 toneladas).

<sup>1</sup> Reformada. DOF 04-06-2014.

En el caso de los automóviles que terminan su vida útil, en el mismo periodo se desecharon en promedio 805 202 unidades por año (Fig.3). Las categorías de las que aún no se dispone de información sobre su generación son las que corresponden a los residuos de rocas o los productos de su descomposición y la de los residuos de salud (sin considerar a los biológico-infecciosos que se consideran como residuos peligrosos) (SEMARNAT, 2013).

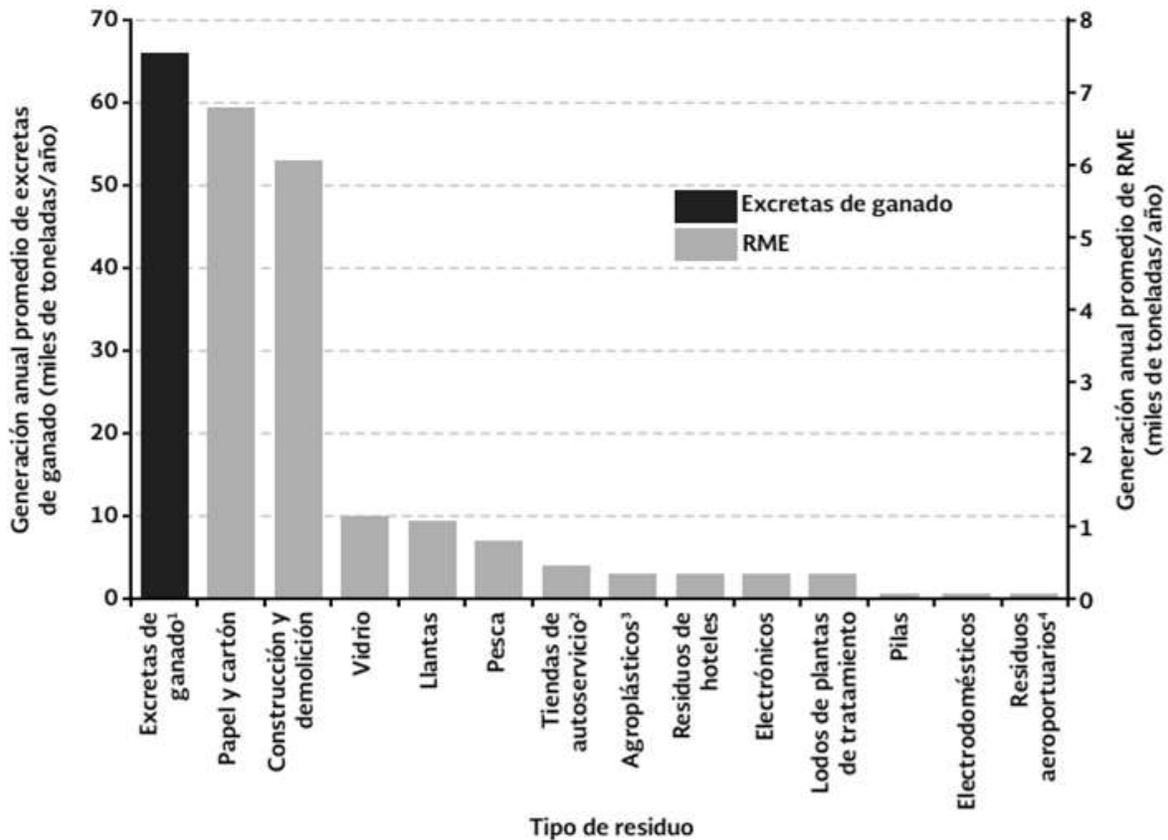


Figura 3. Generación anual promedio de RME en México, 2006-2012

Fuente: Tomada de Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012.* México, 2013.

Al igual que en el caso de la generación, la información sobre el destino final de los RME es aún escasa. (SEMARNAT, 2013)

### **1.2.2. Residuos de Manejo Especial: Residuos de la Construcción y Demolición**

La industria de la construcción es un sector muy relevante dentro de la economía mexicana, a través de las obras que se construyen a lo largo del país se generan miles de fuentes de empleo tanto de manera directa como indirecta, es por ello que la construcción siempre ha estado vinculada con el desarrollo del país y ha sido palanca fundamental para lograrlo. La infraestructura carretera, las obras pesadas de irrigación, la transmisión de energía, las obras de edificación entre las que sobresale la vivienda de interés social, la construcción de obras de equipamiento urbano, son parte de los activos del país. Mientras más obras se construyen, más riqueza y mayor empleo se generan. Por lo anterior, la construcción es una industria que tiene una importante función social; es en este sector de la economía que se absorbe la mayor cantidad de mano de obra no calificada del país. (CMIC, 2013)

El sector de la construcción utiliza insumos provenientes de otras industrias como el acero, hierro, cemento, arena, cal, madera, aluminio, etc., por este motivo, es uno de los principales motores de la economía del país, ya que beneficia a más de 63 de las 79 ramas de actividad productiva a nivel nacional.

Algunas características relevantes de la industria de la construcción en México son:

- Genera 5.6 millones de puestos de trabajo y 2.8 puestos de trabajo indirecto
- Es la cuarta actividad económica con mayor capacidad de generación de empleo
- Es la sexta actividad económica que mayor valor agregado genera a la producción nacional
- Impacta a 63 de las 79 ramas productivas
- Por cada 100 pesos que se destinan a la construcción, 43 se emplean para la compra de servicios y materiales de su cadena productiva
- La contribución de la industria de la construcción y su cadena productiva al PIB nacional es del 11.6% y aporta el 16% al empleo total. (CMIC, 2013)

Sin embargo, como cualquier actividad económica que emplea insumos, los transforma y procesa, también genera residuos, principalmente sólidos.

### 1.2.3. Residuos de la Construcción y Demolición: Composición del escombro

El escombro es el nombre con el que popularmente se le identifican a los desechos producidos por residuos de la construcción y/o demolición (RCD) y según la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) pueden ser clasificados según su volumen (Fig.4) y composición en cuatro grandes grupos:

- Material de producto de Excavación tipo Arcillosos, Granulares y Tepetatosos (Fig.5)
- Concreto, pudiendo ser simple, armado, asfáltico (Fig.6)
- Elementos mezclados prefabricados y pétreos como fragmentos de Block, Tabique, Adoquín, Ladrillos, Piedras, etc. (Fig.7)
- Otros: Madera, Cerámica, Plásticos y Plafón, Yeso, Muros Falsos, Materiales Ferrosos (Fig.8 y 9)

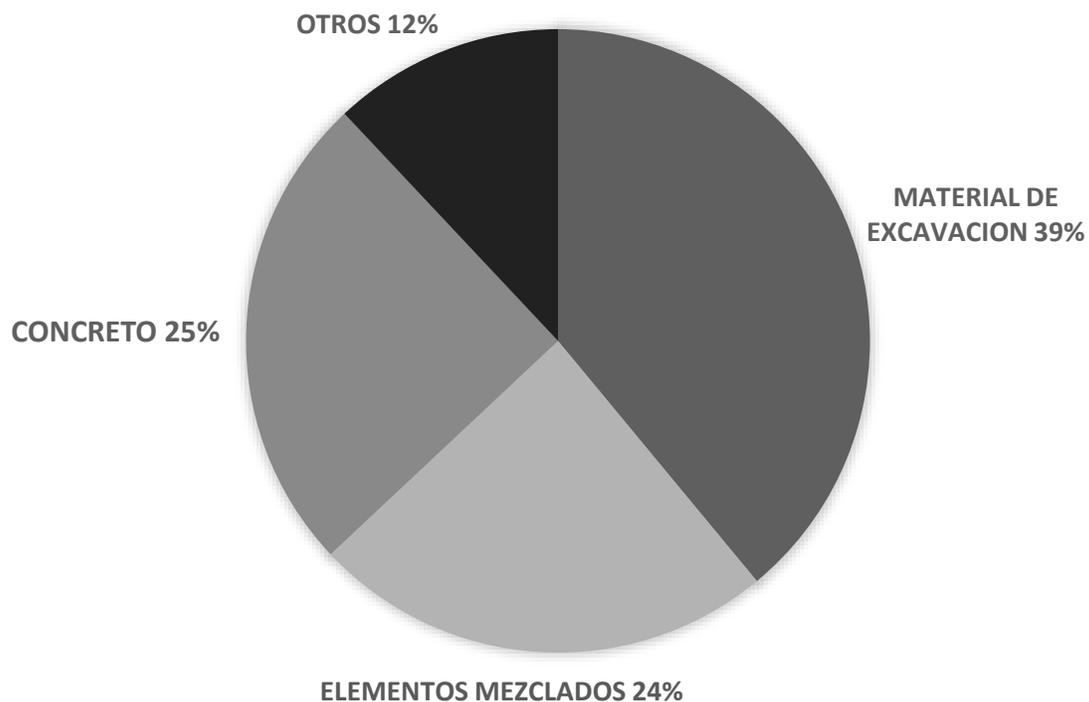


Figura 4. Estimación porcentual del volumen de RCD generado según su composición

Fuente: Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción [CMIC], 2013



Figura 5. Material producto de excavación



Figura 7. Concreto



Figura 6. Otros (Placas de yeso)



Figura 9. Elementos mezclados prefabricados y pétreos



Figura 8. Otros (Materiales férreos)

Para efectos legislativos, la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA), en la Norma Ambiental para la ciudad de México NACDMX-007-RNAT-2019, que establece la clasificación y especificaciones de manejo integral para los residuos de la construcción y demolición en la Ciudad de México, los RCD se clasifican según su composición en 9 categorías (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de los residuos de construcción y demolición

Categorías	Residuos*
A) Concreto simple	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concreto de elementos prefabricados</li> <li>• Concreto de elementos estructurales y no estructurales</li> <li>• Sobrantes de concreto (sin elementos metálicos)</li> </ul>
B) Concreto Armado	Elementos de concreto armado prefabricados y colados en obra
C) Metales	Residuos metálicos como: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acero de refuerzo</li> <li>• Metales ferrosos</li> <li>• Metales no ferrosos (aluminio, cobre, etc.)</li> </ul>
D) Mampostería con recubrimiento	Residuos de mampostería y pétreos con recubrimiento y mortero de juntas, como: blocks, tabicones, adoquines, block cerámico, prefabricados de arcilla recocida (tabiques, ladrillos, tejas, etc.), muros de piedra braza, etc.
E) Pétreos	Materiales pétreos sin recubrimientos o sin juntas de mortero
F) Mezcla Asfáltica	Provenientes de bases asfálticas o negras
G) Excavación	Suelos no contaminados y materiales arcillosos, granulares y pétreos naturales.
H) Elementos prefabricados con materiales mixtos	Paneles y sistemas prefabricados conformados por materiales mixtos (como panel de yeso, panel de tabla cemento y otros paneles en general)
I) Otros Residuos de Manejo especial generados en obra	Residuos con tratamiento y manejo especial, listados de manera enunciativa y no limitativamente: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos de instalaciones eléctricas, residuos electrónicos, lámparas, balastras y baterías</li> <li>• Llantas</li> <li>• Textiles</li> <li>• Madera</li> <li>• Lodos bentoníticos</li> <li>• Unicel</li> </ul>

Fuente: Norma Ambiental para la ciudad de México NACDMX-007-RNAT-2019

\*Los residuos no enlistados deberán clasificarse de acuerdo con sus características de similitud con los establecidos en la Tabla 1.

### 1.2.3.1. Generación de Residuos de la Construcción y Demolición

Según el Plan de manejo de residuos de la construcción y demolición de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) afirma lo siguiente:

“Para la estimación de la generación de RCD, se empleó un algoritmo que relaciona la superficie de obra construida, con un volumen de generación por unidad, a partir de observaciones de campo. Los resultados generales obtenidos indican una Generación Anual Estimada de 6 millones de toneladas de RCD para el año de referencia (2011), lo que significa una generación diaria de cerca de 17,000 toneladas

Considerando dos escenarios diferentes en el comportamiento del crecimiento de la industria de la construcción para el periodo 2014-2018, la generación de RCD en los próximos años se muestra a continuación (Fig.10)

Escenario tendencial: Crecimiento de la industria de la construcción de 3.5% promedio anual; con una generación estimada de residuos 9.2 millones de toneladas para el año 2018 (25,000 Ton/día aproximadamente).

Escenario CMIC: Crecimiento de la industria de la construcción de 5.0% promedio anual; con una generación estimada de residuos 9.9 millones de toneladas para el año 2018 (27,000 Ton/día aproximadamente).

En ambos casos implica la necesidad de crear infraestructura para manejar adecuadamente los RCD.”

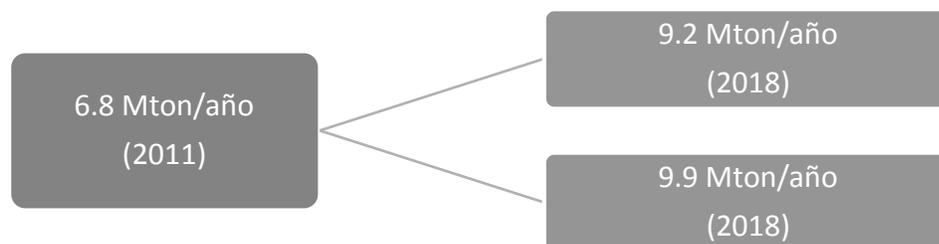


Figura 10. Escenarios de proyección de la generación de los RCD. (En millones de toneladas por año Mton/año)

Fuente: Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción [CMIC], 2013

Aunque los datos sobre la generación de RCD de la CMIC fueron estimados, no se encontraron muy lejanos a la realidad, ya que según el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, en el 2018 la mencionada Cámara elaboró una estimación de la generación nacional para ese año, basada en valores de producción para seis tipos de obras de los sectores: a) agua; b) riego y saneamiento; c) electricidad y comunicaciones; d) transporte; e) petróleo y petroquímica; f) otras obras en base a información estadística (Tabla 2), dieron como resultado una generación total estimada de residuos de la construcción de 10.15 millones de toneladas para el año de referencia. (Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, mayo 2020)

*Tabla 2. Estimación de la generación de residuos de la construcción en el 2018 para México.*

TIPO DE OBRA	GENERACIÓN (TON)	PORCENTAJE DE GENERACIÓN
Edificación	1,593,512.64	16%
Agua, riego y saneamiento	900,576.75	9%
Electricidad y telecomunicaciones	536,280.50	5%
Transporte y urbanización	3,880,234.01	38%
Petróleo y petroquímica	1,049,782.31	10%
Otras construcciones	2,192,936.43	22%
Total	10,153,322.63	100%

Fuente: Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, mayo 2020

De acuerdo con los datos publicados en el Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México 2019, durante el 2019 se presentaron ante la Secretaría un total de 659 Planes de Manejo, con el reporte de 149,468.29 m<sup>3</sup>/año Residuos de la Construcción y Demolición, 250,929.27 m<sup>3</sup>/año Residuos de la Construcción Reciclados y 311,808.32 m<sup>3</sup>/año Residuos de Excavación (Norma Ambiental para la Ciudad de México, 2019).

Pero se estima que del total generado a nivel nacional, sólo el 4% de los RCD, son aprovechados (3% reciclaje y 1% reúso) (CMIC, 2013).

No obstante lo anterior, la gestión en materia de RCD presenta diversas deficiencias, pues a pesar de que varios estados de la república manejan un plan o programa para la gestión de residuos de

manejo especial, son pocas las entidades que cuentan con sitios específicamente diseñados para este fin, aunque en muchos casos éstos no cumplan con las características y requerimientos para el confinamiento de los RCD que se generan.

Es importante destacar que cada obra cuenta con sus propias particularidades en cuanto a la composición y generación de escombros, pero para fines del manejo de los residuos de la construcción y demolición, los generadores de los mismos tendrán las siguientes categorías, conforme al volumen o su equivalente en masa según el tipo de material y de residuos que generen sus actividades por proyecto al año (Norma Ambiental para la Ciudad de México, 2019).

- Grandes generadores: más de 80 m<sup>3</sup> /año (o proyecto)
- Pequeños generadores: más de 7 m<sup>3</sup>/año y hasta 80 m<sup>3</sup>/año (o proyecto)
- Microgeneradores: hasta 7 m<sup>3</sup>/año (o proyecto)

Si bien la mayor parte de los RCD generados en las obras pequeñas son retirados por vehículos de carga privados, poco más del 5%, son trasladados por los vehículos recolectores de residuos sólidos urbanos (RSU), y se estima que cerca del 10% de los residuos se disponen en suelo de conservación o la vía pública (Fig.11).



Figura 11. Disposición en vía pública de escombros generados por el sismo de 2017

Fuente: Diario “El Sol de México”

Para el caso de las grandes obras público y privadas, se estima que el 67% de sus residuos son transportados por vehículos de carga privados, sin embargo, tan sólo el 20% se dispone en sitios autorizados y un 3% se recicla, disponiendo el resto para renivelación de terrenos y rellenos sanitarios en el mejor de los casos.

A consecuencia del manejo inadecuado de los RCD (principalmente en la disposición final), además del impacto visual del entorno, se han identificado dos grandes grupo de afectaciones: impactos al ser humano e impactos al ambiente.

#### 1.2.3.2. Impactos al ser humano

Los RCD están compuestos, en su mayoría, por residuos inorgánicos, por lo tanto se ha tenido la creencia que generan poca o nula contaminación comparado con los residuos sólidos municipales. Nada más alejado de la realidad, ya que estos residuos pueden contener diferentes sustancias que bajo ciertas condiciones pueden llegar a ser biodegradadas y convertirse en sustancias contaminantes para el ser humano, es por ello que los RCD no pueden ser considerados solo como residuos inertes, ya que, una pequeña fracción de éstos contienen sustancias perjudiciales para la salud, como pinturas con contenidos considerables de plomo, mercurio, sustancias de tratamiento para la madera, contenedores de solventes y asbestos. Además tienen la capacidad de producir Sulfuro de Hidrógeno ( $H_2S$ ) durante su disposición, este gas de desagradable olor, naturaleza corrosiva resulta toxico a altas concentraciones y la exposición a concentraciones bajas puede causar irritación de los ojos, la nariz o la garganta (Mejía Erica, 2013).

Aunado a esto, la proliferación de fauna nociva que anida dentro de los escombros como alacranes, cucarachas, ratas, etc., constituye otro impacto a considerarse.

### 1.2.3.3. Impactos al Medio Ambiente

El vertido de RCD tiene numerosos efectos negativos en el medioambiente, tales como, contaminación del suelo y subsuelo por el vertido o la mezcla de residuos peligrosos (Tabla 3), explotación de recursos naturales para la extracción de materias primas, proliferación de polvos y partículas suspendidas, degradación de la calidad del paisaje, obstrucción de arroyos, cañadas y barrancas, alteración de drenajes naturales o pérdida de área de suelo productivo. Por otra parte, el transporte de los residuos tiene consecuencias negativas, ya que genera emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera y deterioro de las vías de circulación debido a su volumen y peso.

*Tabla 3. Principales residuos peligrosos de la demolición.*

RESIDUO GENERADO	SUSTANCIA PELIGROSA
Tejas, losetas, cemento	Asbesto
Lámparas fluorescentes	Mercurio
Madera tratada	Arsénico, cromo, pentaclorofenol, creosota, lindano
Pintura con base plomo	Plomo
Tubos de plomo	Plomo
Revestimiento bituminoso (Impermeabilizantes)	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
Baterías de señalización	Plomo y Cadmio
Juntas y Selladores	Policlorobifenilos

Fuente: Modificada de Mejía, et al. / Residuos de construcción y demolición, 2013.

Todos los efectos mencionados, finalmente pueden resumirse de la siguiente manera:

- 1) Aumento de la vulnerabilidad urbana, que incluye la inestabilidad de terrenos, en especial de aquellos en pendiente, que ocasiona alteraciones de los drenajes naturales y planificados, obstruyendo el cauce normal y cursos del agua, lo que ocasiona riesgos geotécnicos y deslizamientos de tierra;

- 2) Contaminación ambiental, manifestada en la contaminación del suelo, de las aguas superficiales y subterráneas, y del aire por el material particulado en suspensión; y
- 3) Degradación de la calidad del paisaje, por la ocupación del suelo por escombros, lo que ocasiona la pérdida de la capa vegetal; esto como consecuencia puede eventualmente afectar las especies de fauna en la zona, las cuales deben migrar a buscar alimento y a su vez dar espacio a la proliferación de fauna nociva (Mejía Erica, 2013).

Pese a todo ello, hasta el momento sólo se han podido identificar tres estados de la república que cuentan con sitios de disposición final autorizados exclusivos para RCD, entre los que se encuentran, Estado de México, Guanajuato y Baja California (CMIC, 2013).

Cabe mencionar que existen sitios de disposición final mencionados dentro de los planes o programas estatales de manejo integral de residuos, pero no son únicamente para RCD, es decir, se disponen en ellos otro tipo de RME, lo que representa otra cuestión a involucrarse: la demolición y recolección selectiva.

#### **1.2.4. Demolición y recolección selectiva**

Una condición necesaria para un eficiente reciclaje de los residuos de construcción y demolición es una separación cuidadosa. Los residuos de las nuevas construcciones y/o remodelaciones se deben seleccionar correctamente en el lugar de producción o bien en un lugar especial de tratamiento. La separación de las diversas categorías de materiales resulta en estos casos bastante simple. Por el contrario, la clasificación de los residuos de construcción producto de la demolición es un proceso más complicado. La demolición, hasta hace poco, se consideraba como un proceso poco técnico. Esto debido a que las principales metas del constructor o contratista eran una demolición rápida y el vertido de los escombros. Las medidas especiales para separar diferentes tipos de materiales no se realizaban ya que eran incompatibles con la rapidez exigida al trabajo. (Erik K. Lauritze, 1992)

Actualmente dentro de la Norma ambiental para la ciudad de México NACDMX-007-RNAT-2019, se establece que los residuos generados en obras de construcción, tales como: construcción, modificación, remodelación, ampliación, adecuación, rehabilitación, restauración, reparación, sustitución de infraestructura, conservación, mantenimiento, instalación, demolición u otras deberán separarse en la fuente generadora conforme a lo establecido en la Tabla 1, y ser objeto de un Plan de Manejo, en los términos de dicha Norma ambiental, según sea aplicable.

Así como los residuos de las categorías C) Metales, G) Excavación e I) Residuos de manejo especial establecidas en la Tabla 1, deberán de separarse en obra con la finalidad de ser enviados a sitios de valorización o reciclaje. (Norma Ambiental para la Ciudad de México, 2019)

Una manipulación óptima y el reciclaje de los residuos de la construcción dependen de que los materiales se separen en el sitio y en coordinación con el proceso de demolición. Esto requiere que se introduzca la demolición selectiva, lo que obliga a que antes y durante la demolición, se lleve a cabo una separación de los diferentes materiales, con el objetivo de prevenir la mezcla de materiales y la contaminación de materias reciclables como la madera, el papel, el cartón y plástico, etc. Evidentemente, esto hace que el proceso de demolición selectiva sea más caro en comparación a los métodos tradicionales de demolición. Por otro lado, los ahorros económicos, aumentan si se tiene en cuenta que esto significa una mayor calidad en los materiales de demolición y elimina la

necesidad de hacer la selección en la planta de reciclaje. También se ahorran los costos de transporte y tasas por disposición de residuos en los sitios autorizados.

Por lo tanto, es necesario planificar y dirigir los trabajos de demolición de una manera completamente diferente a los métodos tradicionales. La demolición selectiva se realiza de manera contraria al proceso de construcción e implica los siguientes pasos:

- 1.- Sacar los desechos y las molduras no fijas.
- 2.- Desmantelar, comprendiendo limpiezas internas, quitar las puertas, ventanas, tejados, instalaciones de agua, electricidad y calefacción, etc. Esto respecto sólo a la estructura del edificio remanente.
- 3.- Demolición de la estructura del edificio.

El desmantelar los elementos no fijos se realiza primeramente a mano, mientras que la demolición de la construcción se lleva a cabo con técnicas y métodos apropiados. Por ejemplo, para una construcción de concreto que se tira en el sitio, puede hacerse una apropiada selección y desmantelamiento de cada grupo "in situ". Después de la demolición y la separación, los materiales pueden trasladarse de sitio. Los materiales para el reciclaje u otros usos pueden ser vendidos directamente en el lugar o llevados a sitios temporales para almacenamiento o venta. Los materiales para el reciclaje se transportan a plantas de reciclaje, donde son cuidadosamente clasificados y triturados (Erik K. Lauritze, 1992).

La importancia de la recolección selectiva radica en la oportunidad de separar residuos potencialmente reciclables de aquellos cuyo componente orgánico contaminaría otros residuos. En resumen, la recolección selectiva permite que los escombros que todavía pueden cumplir un ciclo productivo lo hagan, sin verse afectados por otros escombros con alto contenido de materia orgánica que pudiera cortar el proceso de reutilización o reciclaje de los residuos inertes como el concreto o los elementos prefabricados y materiales pétreos.

El problema de revolver los distintos tipos de residuos de una obra es que los agregados para confeccionar concretos y prefabricados estarían contaminados con limos y hongos que posteriormente podrían originar reacciones al interior del material ya confeccionado, afectando su estabilidad, estética e inclusive la vida útil dentro de una construcción (Méndez de los Santos Noemí, 2010).

### 1.2.5. Reciclaje

En estos tiempos es muy común haber escuchado hablar sobre reciclar, reciclado y reciclaje, la definición más simple para estas palabras es “*el proceso de recolección y transformación de materiales para convertirlos en nuevos productos*” (BBVA, s.f.). Sin embargo el entendimiento del concepto es un poco más profundo, ya que lleva consigo la intervención distintos factores que le darán el sentido al mismo, como el social, económico, cultural, etc.

Para ello, es necesario distinguir desde el inicio entre el reúso y el reciclaje, ya que erróneamente suelen usarse como sinónimos. El reúso se refiere a la recuperación de materiales de desecho que, mediante una ligera modificación, se utilizan nuevamente. Por otra parte, el reciclaje requiere algún tipo de procesamiento físico, biológico o químico, de modo que se pueda utilizar como materia prima para nuevos productos (Medina, 1999). Si bien es una manera de explicar el término, no es la única definición aplicable, según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, LGPGIR, el reciclado se considera como la transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos; es decir, el reciclaje no solo implica un proceso de recolección y procesamiento, sino también la introducción de éstos nuevos materiales con el mínimo de impactos negativos.

Así pues, el reciclaje pretende convertir algunos de los materiales que componen los residuos en materiales reusables en los procesos productivos. Desde el punto de vista de la gestión de los residuos, el reciclaje tiene la ventaja de reducir el volumen de materiales que requieren ser recolectados, transportados y dispuestos en sitios adecuados.

La revalorización de los residuos también disminuye el consumo de materias primas, electricidad y agua, entre otros insumos, que serían necesarios para la extracción y procesamiento de nuevos materiales. Por ejemplo, obtener aluminio a partir de aluminio reciclado requiere 95% menos energía que producirlo de materiales puros (SEMARNAT, 2016).

El volumen de materiales reciclados en México es reducido: en 2012 alcanzó alrededor del 9.6% del volumen de los residuos generados (INECC, 2012). Esta cifra resulta baja cuando se compara

con lo reportado para los países que forman parte de la OCDE, que en promedio reciclaron en ese mismo año alrededor del 24% de sus residuos, con algunos países con porcentajes cercanos o mayores al 50%, como en el caso de Corea del Sur y Alemania con 58% y 47%, respectivamente (SEMARNAT, 2016).

Es entonces como se determina que el reciclaje es una respuesta adaptativa a la escasez, una actividad económica en la cual individuos y sociedades tratan de hacer un uso más eficiente de los recursos (Medina, 1999).

#### 1.2.5.1. Tipos de reciclaje

En términos generales existen tres tipos principales de reciclaje: primario, secundario y terciario.

- Reciclaje primario: también conocido como reciclaje en circuito cerrado, es el proceso de convertir una cosa en más de lo mismo, como el papel en más papel o latas de refrescos en más latas de refrescos.
- Reciclaje secundario: transforma un producto desechado en otras cosas fabricadas con el mismo material, por ejemplo el caucho de las llantas no terminan siendo llantas nuevas, sino otros productos hechos a base de caucho.
- Reciclaje terciario o químico: requiere descomponer los materiales químicamente para producir con los desechos algo completamente diferente.

Para el caso de los residuos de la construcción y demolición, se puede hablar de tipo primario y secundario dependiendo del residuo a reciclar.

Existen, sin embargo, ciertas barreras mentales para el uso de los materiales reciclados en la construcción. Esto causa dificultades considerables para una utilización racional de las posibilidades del reciclaje, es necesario hacer un gran énfasis a la información y educación junto a la organización y control del flujo de residuos y la gestión de las materias primas.

## 1.2.6. Economía circular y Logística Inversa

### 1.2.6.1. De lo lineal a lo circular

Hasta ahora, el principal modelo económico en México, ha sido el de producir, consumir y desechar. Este modelo genera un sistema lineal, donde evidentemente, se extrae, produce, distribuye, consume y finalmente se desecha (Fig. 12).

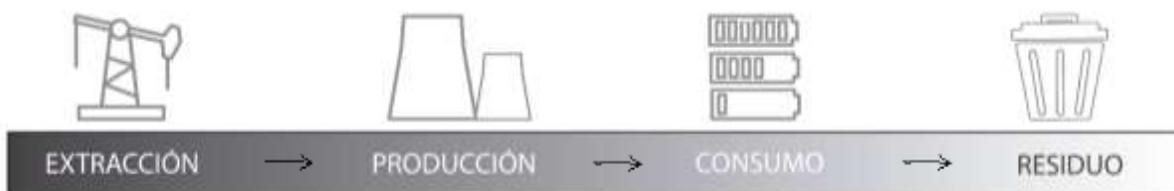


Figura 12. Esquema de funcionamiento de la economía lineal

Aunque existen grandes esfuerzos por incorporar cambios en el sistema, como el cuidado de la materia prima a través del reciclaje para evitar una sobre explotación, estos cambios son sólo adecuaciones para mantener el mismo sistema funcionando por más tiempo. El problema implícito es que los recursos son finitos, pero el sistema no un tiene límite.

Por ello es indispensable un cambio en el sistema. El modelo actual de creación de valor genera residuos aún en sectores que se consideran optimizados. Las investigaciones de la Fundación Ellen Macarthur, encontraron que en Europa, el automóvil promedio pasa 92% del tiempo estacionado, 31% de los alimentos se desecha a lo largo de la cadena de valor, y la oficina media sólo se usa el 50% del tiempo (Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, mayo 2020).

En contraparte, a lo largo de los últimos sesenta años, se han desarrollado diversas escuelas de pensamiento que han introducido prácticas que hoy están contenidas en los diversos Modelos de Economía Circular tendientes a erradicar la economía lineal.

Ejemplo de tales escuelas es la que impulsa la permacultura con el apoyo de programas gubernamentales, organizaciones de la sociedad civil y de instituciones educativas.

La permacultura ha introducido la aplicación de diversas ecotecnias en múltiples comunidades. Entre ellas, se encuentra la captura del agua de lluvia, el biotratamiento de las aguas residuales y de los biorresiduos para su aprovechamiento, la utilización de sanitarios secos en los que las heces son sujetas a procesos de composteo y empleo como mejoradores de suelo, además de propiciar la utilización de energías renovables.

Mientras que la economía azul considera a los mares y océanos como motores de crecimiento e innovación para un desarrollo económico sostenible y rentable a nivel global, capaz de impulsar las economías locales, al involucrar a cualquier sector empresarial e incentivar la eliminación de todo aquello que no sea necesario. Es particularmente importante su impulso al aprovechamiento de la energía marina y a la aplicación de prácticas de acuicultura, pesca y turismo, bajas en emisiones de carbono, así como de reciclaje de plásticos extraídos del mar.

La ecología industrial, constituye un sistema industrial que pretende imitar la forma en la que funciona un ecosistema al fomentar los encadenamientos productivos en los que los residuos y aguas residuales tratadas de unas industrias se aprovechan en otras, o se cogenera energía a partir de residuos, en una verdadera simbiosis industrial. Este sistema se vino a enriquecer con la introducción del concepto “Cradle to cradle” o de la cuna a la cuna, que es una manera diferente de idear, diseñar y producir de forma que los elementos que componen los productos puedan ser 100% reutilizados o reciclados. Esto supone un cambio radical del concepto tradicional del sistema de producción, porque exige monitorear su ecoefectividad y asegurar que se coloque en el centro del diseño y desarrollo el equilibrio entre la economía y la ecología. Este último sistema es la base para el establecimiento de esquemas de **logística inversa** que permiten a los consumidores retornar a los productores sus productos y envases post consumo para que los vuelvan a utilizar en la fabricación de nuevos, bajo el principio de responsabilidad extendida.

En México existen antecedentes de la aplicación de los modelos anteriores desarrollados como una alternativa a la economía lineal, en reconocimiento de que en la naturaleza los procesos biológicos no generan desechos y son altamente eficientes en el uso de energía (Cortinas, 2021).

La economía del reciclaje no es economía circular. La economía circular se caracteriza por ser restaurativa y regenerativa como fin, y trata de que, en todo momento, los productos, componentes y materias mantengan su utilidad y valor máximo (Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, mayo 2020).

En definición, la economía circular es un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad, y cuyo objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos (agua, energía,...) se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible, reduciendo al mínimo la generación de residuos basándose en el principio de «cerrar el ciclo de vida» de los productos (Fig.13).



*Figura 13. Diagrama de funcionamiento de la economía circular.*

La economía circular se basa en tres principios:

- Preservar y mejorar el capital natural, a través del control de las reservas finitas y equilibrio en los flujos de recursos renovables.

- Optimizar el rendimiento de los recursos, a través de la distribución de productos, componentes y materias habilitados todo el tiempo para su máxima utilidad, en ciclos técnicos como biológicos.
- Promocionar la eficacia de los sistemas, a través de la detección y eliminación del diseño de los factores externos negativos. (Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, mayo 2020)

En otras palabras, la economía circular es la intersección de los aspectos ambientales, económicos y sociales. Los residuos de unos se convierten en recursos para otros, trayendo consigo múltiples beneficios, ya que el desarrollo de una economía circular ayudará a disminuir el uso de los recursos, a reducir la producción de residuos y a limitar el consumo de energía. Para ello es necesario participar en la reorientación productiva de los países, para que, además de los beneficios ambientales, esta actividad sea creadora de riqueza y empleo (Circular, s.f.).

De acuerdo al Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos 2020, la transición hacia una economía circular se puede llevar a cabo mediante siete pasos:

1. Reflexión acerca de la modalidad del consumo de los recursos.
2. Rediseño de los productos de modo que sean desmontables y así lograr mayor duración.
3. Reutilización de los artículos (economía colaborativa).
4. Reparación de los productos.
5. Remanufactura, recuperación de artículos una vez que lleguen al fin de su ciclo de vida útil, para producir otros.
6. Reciclaje.
7. Recuperación, para aprovechamiento como fuente de energía.

En el caso de los residuos, el objetivo es eliminarlos para así tener cero residuos, esto mediante el rediseño de los productos a través de la logística inversa. Se debe eliminar embalajes, empaques, envases y envolturas innecesarios, los que sean necesarios deberán de ser de materiales composteables o reciclables, eliminando la disposición final en rellenos sanitarios (Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, mayo 2020).

### 1.2.6.2. Importancia de la logística inversa

En las últimas décadas, debido a diferentes factores como la creciente concientización medioambiental, la necesidad de ofrecer un servicio post-venta más competitivo, o la necesidad del retorno y recuperación de productos con el objetivo de recuperar valor y aumentar la rentabilidad de la empresa, están generando importantes flujos de materiales y productos en dirección opuesta a la tradicionalmente asumida en la distribución comercial, y en la Logística “tradicional”. Esto es, desde el consumidor hacia el fabricante. En este contexto, se hace cada vez más importante la “logística inversa”, también llamada “distribución inversa”, “retrologística” o “logística de la recuperación y el reciclaje” (Badenes, 2015). Pero es necesario en primera instancia, conocer el concepto general de logística.

Si bien existen numerosas definiciones se tomará como logística, el ciclo de vida de un producto, que se origina desde la decisión y definición, pasando por su diseño y desarrollo, fabricación, distribución y comercialización, utilización y mantenimiento hasta llegar al fin de vida (Carles, 2002).

Como su nombre lo indica, la Logística Inversa consiste en el proceso de planificación, ejecución y control de manera racional de los flujos de materias primas, productos semielaborados, productos terminados e información relacionada, **desde el punto de consumo hasta el punto de origen**, con el propósito de recuperar el valor del producto o la mejora en la eliminación de residuos (Dale S. Rogers R. S.-L., 1999). En este nuevo paradigma en el ciclo de vida del producto, *quien produce el artículo es responsable de los impactos de su ciclo de vida*, de forma que en cada eslabón del ciclo se tiene en cuenta su impacto ambiental y, es la empresa productora la última responsable (Nieto, 2012).

Si se compara el proceso de la logística inversa con el funcionamiento de la economía circular, se puede notar las similitudes en cuanto al desarrollo cíclico de sus fases, esto es debido a que la economía circular se basa en procesos individuales de logística inversa, dicho de otra manera, cada industria requiere que el destino final de la vida útil del producto retorne a la misma industria o a una distinta para que el residuo nunca pierda su valor (Fig.14).

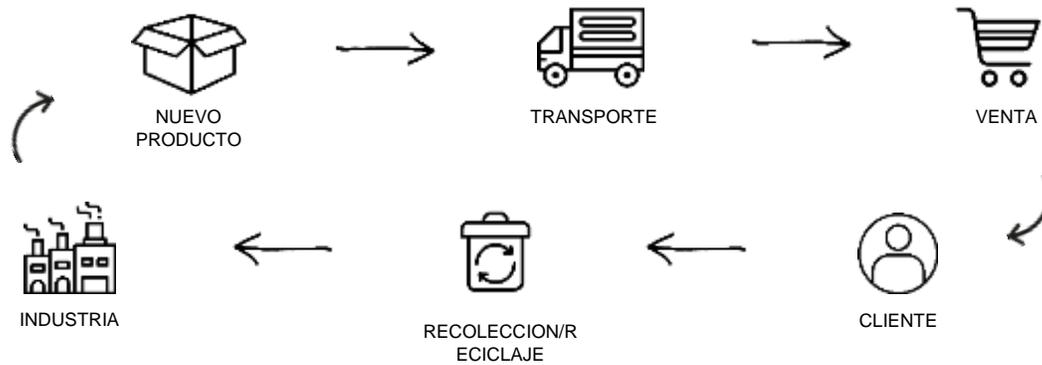


Figura 14. Gráfico representativo de la Logística inversa.

Así como la economía circular consigue convertir nuestros residuos en materias primas, los productos deben ser diseñados para ser deconstruidos y retornados al ciclo; es ahí donde la logística inversa toma importancia, ya que el 80% de los impactos de un producto se pueden prever desde la etapa del diseño. Esto significa que si se toma el fin del ciclo de vida como base para la creación de un nuevo material o producto, se podrá anticipar el uso de los residuos dentro de la cadena de valor, minimizando con ello los impactos ambientales que pudieran generar.

## **CAPITULO 2**

## 2.1. JUSTIFICACION

Desde hace ya algunos años, la contaminación ambiental es un grave problema que afecta a nuestro planeta y a todos los que habitan en él. Se han expuesto muchos tipos de contaminantes en los que la atención se encuentra centrada, pero existen muchos más que a pesar de ser conocidos, no se les ha otorgado la debida importancia.

Éste sería el caso de la contaminación generada por la cantidad de residuos de la construcción y demolición, que se encuentran inmersos en la cotidianidad.

Los datos expuestos anteriormente son valores estimados de acuerdo a la información proporcionada por las distintas empresas y constructoras reguladas, no se tiene una cifra total real puesto que muchos sitios de destino final no se encuentran bajo ninguna norma de registro, lo cual dificulta el dimensionamiento de la magnitud de la problemática y a su vez, repercute directamente en el control de los residuos. De igual manera, la gestión de los escombros en cuanto a su disposición final, presenta serias deficiencias, ya que son pocos los sitios que cuentan con equipo especializado para darle el tratamiento adecuado de separación y recuperación de materiales de valor para otras industrias, así como el vertido en rellenos sanitarios, puesto que suele mezclarse junto con los RSU en la mayoría de los sitios autorizados.

Es por esto que se realizó el estudio del comportamiento de los esfuerzos a la compresión de distintas proporciones de RCD como agregado grueso en un concreto  $F'c=200\text{ kg/cm}^2$ , lo que trajo como resultado la identificación de la proporción idónea para el desarrollo de un concreto con características equivalentes a un concreto convencional, aplicable dentro de las edificaciones y amigable con el ambiente, siendo el mismo residuo la materia prima a utilizar; esto con la finalidad de contar con una alternativa para reducir el incremento de RCD y el manejo inadecuado de los mismos, que a su vez tendrán como consecuencia la visualización y concientización de la problemática por parte de la población y autoridades, lo que repercute en la reducción de la explotación de recursos naturales para la extracción de las materias primas que intervienen dentro de la fabricación de los concretos tradicionales.

## 2.2. OBJETIVOS

### 2.2.1. Objetivo General

Desarrollar un concreto  $F'c= 200 \text{ kg/cm}^2$  amigable con el medio ambiente mediante el uso de Residuos de la Construcción y Demolición, de la clasificación: desechos del concreto y elementos mezclados prefabricados, como agregado grueso y el análisis de su resistencia mecánica a la compresión.

### 2.2.2. Objetivos específicos

- Identificar la problemática en la selección y recolección de RCD.
- Reconocer la factibilidad en el manejo de los RCD seleccionados para la confección de las mezclas.
- Diseñar mezclas de agregados y fabricación de probetas.
- Determinar las propiedades mecánicas de las probetas del material reciclado, de acuerdo a pruebas de resistencia a la compresión.
- Analizar los resultados obtenidos.
- Definir la proporción óptima de RCD como agregado grueso para la obtención de concreto  $F'c= 200 \text{ kg/cm}^2$ .

## **CAPITULO 3**

### 3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se determinó la proporción idónea de RCD como agregado grueso para concreto  $F'c=200 \text{ kg/cm}^2$ , según los datos de resistencia arrojados por la máquina de ensayo de compresión y que se encuentran dentro de la normativa oficial vigente. Para ello se estudian 3 muestras de 5 mezclas con distintas proporciones (en %) de RCD. Quedando de la siguiente manera:

Mezcla A ( $M_A$ ) = 100% agregados de primera

Mezcla B ( $M_B$ ) = 75% agregados de primera y 25% de RCD

Mezcla C ( $M_C$ ) = 50% agregados de primera y 50% de RCD

Mezcla D ( $M_D$ ) = 25% agregados de primera y 75% de RCD

Mezcla E ( $M_E$ ) = 100% de RCD

Considerando que se trata de un experimento unifactorial; en donde el único factor a analizar son los RCD como agregado grueso y los tratamientos son cada una de las distintas proporciones de las muestras; se determina la utilización de un diseño completamente al azar (DCA).

*Tabla 4. Nomenclatura de las mezclas*

Mezcla	Muestra		
$M_A$	$M_{A1}$	$M_{A2}$	$M_{A3}$
$M_B$	$M_{B1}$	$M_{B2}$	$M_{B3}$
$M_C$	$M_{C1}$	$M_{C2}$	$M_{C3}$
$M_D$	$M_{D1}$	$M_{D2}$	$M_{D3}$
$M_E$	$M_{E1}$	$M_{E2}$	$M_{E3}$

### 3.2. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL



### 3.3. MATERIALES Y MÉTODO

Para el desarrollo del presente proyecto, se considera el uso de los siguientes materiales:

- Báscula capacidad máxima de 5kg (Fig.15)
- Herramienta auxiliar, como varilla de compactación, pala, recipientes, llana, cucharón, dosificadores, cribas, etc. (Fig.16)
- Moldes cilíndricos de acero, fierro fundido o cualquier otro material no absorbente y no reactivo al concreto de cemento Portland u otros cementantes hidráulicos; deben ser impermeables, y contar con dispositivos que sujeten firmemente las placas de la base. Para este caso se hace uso de moldes cilíndricos de PVC Ø 3" (Fig.17)
- Charolas de lámina; con la capacidad suficiente para permitir un mezclado fácil de la muestra total con la cuchara o pala.
- Prensa de compresión marca Davisa modelo 150t (Fig.18)
- Agregados para fabricación de concreto:
  - Agua
  - Arena (Fig.19)
  - Cemento CPC 30R RS marca Cemex-Tolteca (Fig.19)
  - Grava 3/4" tamaño máximo del agregado (Fig. 20)
  - RCD 3/4" tamaño máximo del agregado (Fig. 20)



Figura 16. Báscula



Figura 17. Cribas



Figura 15. Prensa de compresión Davisa 150t



Figura 18. Moldes cilíndricos de PVC  $\varnothing$  3"

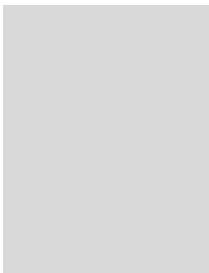


Figura 19. Cemento Portland Cemex-Tolteca (derecha) y agregado fino/arena (izquierda)

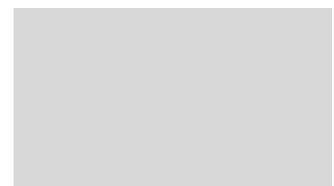


Figura 20. Agregado grueso de primera (izquierda) y agregado grueso reciclado (derecha), ambos con un tamaño máximo de 3/4".



1. Inicialmente, se realizó una recolección de RCD, poniendo particular atención a los elementos de concreto y se separaron los que contenían elementos metálicos de aquellos que no los contenían. Se conservaron estos últimos (Fig.21).



Figura 21. Selección y recolección de residuos provenientes de elementos de concreto simple.

2. Previa selección y limpieza (Fig.22), se realizaron las mezclas de los diferentes agregados de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 5. Proporciónamiento de los agregados del concreto bajo estudio.

PROPORCIONES CONCRETO F'C= 200 KG/CM <sup>2</sup> R.N. PARA 1 m <sup>3</sup>					
MEZCLA	CEM (T)	AGUA (m <sup>3</sup> )	ARENA (m <sup>3</sup> )	GRAVA 3/4" (m <sup>3</sup> )	RECICLADO (m <sup>3</sup> )
MA	0.358	0.202	0.497	0.601	0
MB	0.358	0.202	0.497	0.45075	0.15025
MC	0.358	0.202	0.497	0.3005	0.3005
MD	0.358	0.202	0.497	0.15025	0.45075
ME	0.358	0.202	0.497	0	0.601



Figura 22. Selección de material por medio de cribado y limpieza de los mismos.

3. Se fabricaron 3 probetas de cada una de las mezclas indicadas en la tabla 5, considerando la normatividad para la elaboración de moldes cilíndricos verticales establecida en la NMX-160-ONNCCE-Vigente (Fig.23).



*Figura 23. Mezclas MA, MB, MC, MD, ME*

Para la elaboración de especímenes, el vaciado de la muestra se hace con un cucharón en los moldes previo revestimiento interior con aceite mineral o con un material adecuado no reactivo con los ingredientes del concreto; es necesario remezclar el concreto en la charola con una pala o cuchara para prevenir la segregación; posteriormente hay que distribuir el concreto usando la varilla de compactación. Después de la compactación, la superficie se termina con un rasero de metal, con un mínimo de pasadas, para producir una superficie plana y uniforme que esté a nivel con las orillas del molde y que no tenga depresiones o promontorios de más de 3 mm. Para evitar la evaporación del agua de los especímenes de concreto sin fraguar, deben cubrirse inmediatamente después de terminados con una placa no absorbente, no reactiva o con una tela de plástico, o yute, en cuyo caso deberá permanecer siempre húmedo. Cabe mencionar que los especímenes deben elaborarse en un lugar cubierto, sobre una superficie horizontal rígida, nivelada, libre de movimientos y otras perturbaciones.

4. Se reposaron las muestras durante 28 días en un ambiente de humedad controlado para el curado de las mismas de acuerdo a la NMX-C-160-ONNCCE-Vigente-Concreto- Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto (Fig. 25)

Los especímenes de prueba elaborados para comprobar las proporciones de la mezcla para propósitos de resistencia deben retirarse a las 24 horas después del moldeo, permitiendo un margen de entre 20 h y 48 h y almacenarse de inmediato bajo condiciones húmedas a una temperatura de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta el momento de la prueba (Fig. 24). El curado húmedo debe cumplir la NMX-C-148 ONNCCE.



Figura 25. Indicador de temperatura ( $21.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y humedad (95%) al interior del cuarto.



Figura 24. Cuarto húmedo en donde fueron depositadas las muestras para el proceso de curado de las mismas.

5. Transcurridos los 28 días de curado, se realizaron los ensayos compresivos correspondientes para determinar el esfuerzo de fractura y la máxima resistencia a la compresión de las diferentes mezclas (Fig.26)



Figura 26. Ensayo compresivo sobre la muestra MA1. De izquierda a derecha se observa la colocación inicial, el desarrollo del ensayo y la fractura de la muestra. El procedimiento se replica para todas las muestras.



Esta prueba muestra la mayor resistencia posible que puede alcanzar el concreto en condiciones ideales. Esta prueba mide la resistencia del concreto en estado endurecido. Las pruebas se realizaron en laboratorio (Fig.27). Se deben elaborar por lo menos tres cilindros por cada muestra. El procedimiento para la prueba de resistencia a la compresión se realizó de acuerdo a los procedimientos básicos según la Norma Mexicana NMX-C-160-ONNCCE; con especímenes cilíndricos de concreto colados en posición vertical, de una longitud igual a dos veces el diámetro. Cuando el tamaño nominal del agregado sea mayor de 50 mm, el diámetro del cilindro debe ser por lo menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado. A menos que se requiera por especificación de proyecto, no deben hacerse en campo cilindros menores de 150 mm x 300 mm.



*Figura 27. Cuarto de ensayos. Interior del cuarto de ensayos del laboratorio Trabelab, con ubicación en la ciudad de Puebla, Pue.*

6. Se analizaron los resultados obtenidos de la resistencia mecánica a la compresión de las probetas y se identificó la proporción adecuada para la fabricación de concreto  $F'c= 200\text{kg/cm}^2$  con material reciclado como agregado grueso.

## **CAPITULO 4**

#### 4.1. RESULTADOS

Los ensayos se realizaron con una prensa de compresión marca Davisa modelo 150t y de acuerdo a lo establecido en la NMX-C-083-ONNCCE, arrojando los resultados que se muestran a continuación. Para efecto de análisis comparativo de los datos, se considera la mezcla MA como mezcla paramétrica, al contener un 0% de agregados reciclados.

Tabla 6. Resistencia a la compresión promedio de las muestras de RCD según su composición

Mezcla	Composición	Unidad	Resistencia
MA	0% RCD	kgf/cm <sup>2</sup>	208
MB	25% RCD	kgf/cm <sup>2</sup>	225
5MC	50% RCD	kgf/cm <sup>2</sup>	206
MD	75% RCD	kgf/cm <sup>2</sup>	183
ME	100% RCD	kgf/cm <sup>2</sup>	195

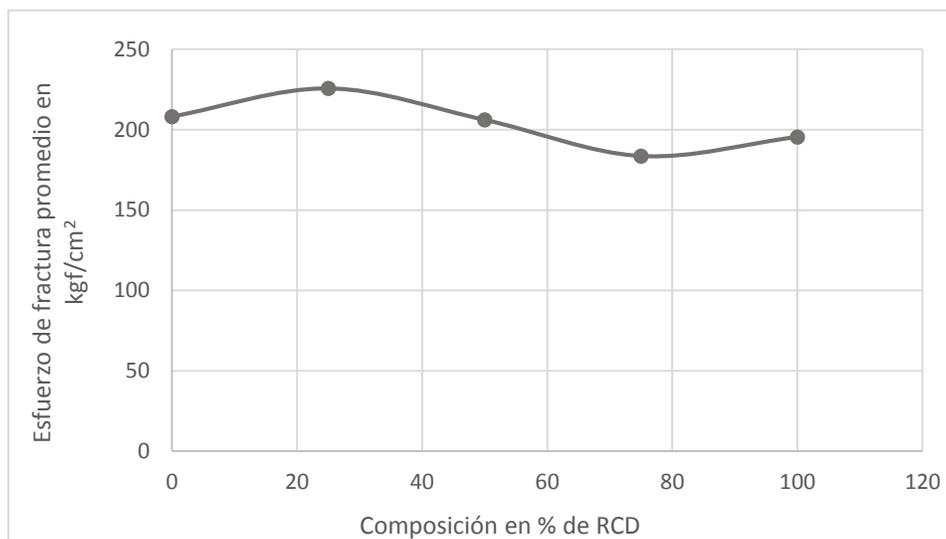


Figura 28. Esfuerzo de Fractura vs Contenido de RCD.

Como se puede apreciar en la Figura 28. La mezcla MB, correspondiente a la composición 25% agregado grueso RCD, representa el valor más alto con respecto a la mezcla base MA, mientras que el resto de las mezclas se mantienen por debajo del valor de MA, es decir, se comportan de manera normal dada la naturaleza del agregado (Fig.29).



Figura 29. Muestras ensayadas. Presentan visibles fisuras en forma diagonal, lo cual es adecuado para este tipo de materiales.

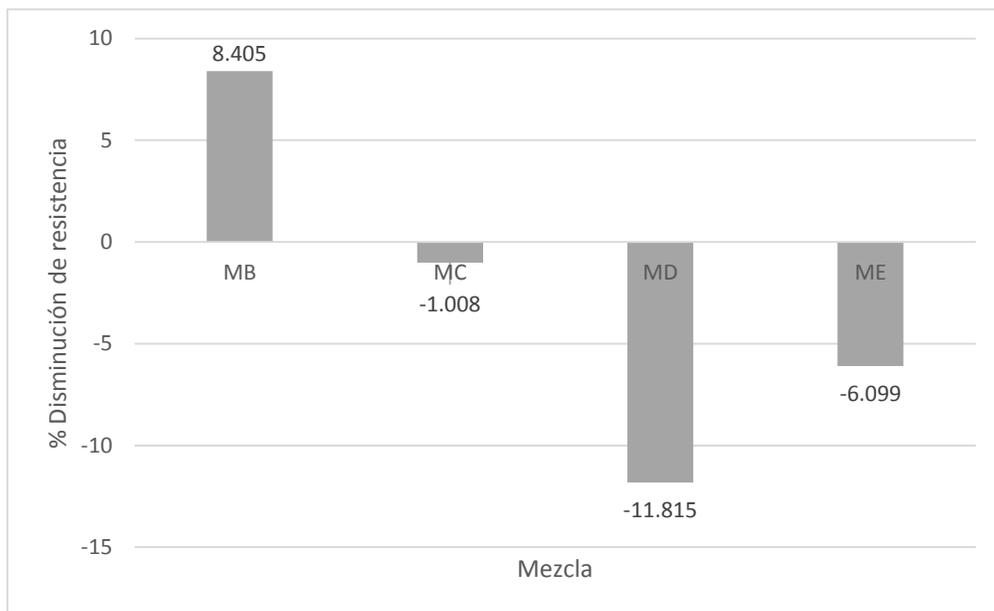


Figura 30. Porcentaje de disminución de resistencia según el esfuerzo de fractura promedio.

Para el caso de la Figura 30. El porcentaje de disminución de resistencia a la compresión, con respecto a la mezcla base ( $M_A$ ), se encuentra en rangos inferiores al 12% para las mezclas  $M_D$  y  $M_E$ , mientras que para la mezcla  $M_C$ , la disminución del 1%. Para el caso de la mezcla  $M_B$  se puede apreciar un aumento del 8.4% de resistencia a la compresión con respecto a la mezcla base.

Esto significa que para el caso de las mezclas  $M_B$  y  $M_C$ , cumplen con el objetivo de confeccionar un concreto  $F'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  al obtener resistencias superiores a la deseada.

### 4.1.1. Análisis estadístico

Para el estudio sobre la reintegración de los RCD como agregado grueso con base al análisis de sus resistencias mecánicas en concreto  $F'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ , se obtuvo la resistencia a la compresión de 3 muestras de 5 mezclas con distintas proporciones en % de RCD. A continuación se determinará si las proporciones de RCD como agregado grueso dentro de la mezcla influyen significativamente en la resistencia a la compresión obtenida.

Mezcla	Resistencia a la compresión			$Y_i \cdot$	$Y_i^2$
MA	213	223	188	624	208
MB	181	223	273	677	225.667
MC	222	191	205	618	206
MD	197	140	213	550	183.333
ME	196	206	184	586	195.333
				$y \cdot \cdot$ 3055	

Factor: Mezclas con distintas proporciones en % de RCD

Tratamiento: MA, MB, MC, MD, ME

Variable de respuesta: Resistencia a la compresión (en  $\text{kgf/cm}^2$ )

N=15

Significancia = 0.05

Tabla de Análisis de Varianza

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>F Tablas</i>
Factor	2973.33333	4	743.3333333	0.86817722	3.47804969
Error	8562	10	856.2		
Total	11535.3333	14			

Como  $F < F \text{ tablas}$  se acepta  $H_0$   $\therefore$  la proporción en % de RCD no influye y se concluye con un nivel de confianza del 95% que no existe una diferencia significativa entre los tratamientos de las muestras con respecto a la resistencia a la compresión.

## 4.2. DISCUSION

Si bien la finalidad de conocer si es posible la reintegración de los RCD como agregado grueso, basándose en la resistencia a esfuerzos compresivos para un concreto  $F'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  se cumple de manera satisfactoria, no se puede dejar de lado que existen diversas características físicas y mecánicas de los agregados reciclados a considerarse para la determinación de la calidad y comportamiento de un concreto reciclado (José M. Gómez, 1999). Que si bien dichas características intervienen para la utilización de los mismos, no son un factor que determine la competitividad de un material reciclado vs material de primera (Emilio, 2007). En cuanto a la proporción adecuada para la fabricación del citado concreto, se puede considerar que la mezcla  $M_B$ , correspondiente al 25% del agregado grueso reciclado, es la óptima, lo que concuerda con Mehta y Monteiro, que recomiendan reemplazar hasta el 20 % del agregado grueso, encontrando que cuando se sustituye más de este porcentaje, la resistencia al esfuerzo de la compresión disminuye hasta en un 20 %, aunque investigaciones posteriores han demostrado que el desempeño en cuanto al esfuerzo de la compresión está entre un 64 % y 100 % de una mezcla de control (Mehta P. K., 2006).

Cabe mencionar que en estudios previos la materia prima reciclada para la fabricación de concreto reciclado es otro concreto, descartando otro tipo de elementos como prefabricados o morteros. En el presente proyecto la utilización de materia prima derivada del concreto es circunstancial y no intencional, ya que en México existe cierta dificultad para la separación y clasificación de RCD. Lo que lleva a enfatizar sobre la continuidad de estudios por realizarse para la ampliación y profundización del conocimiento de los materiales locales, ya que su constitución y características son muy variadas dependiendo de cada región.

Otro punto importante a destacar es que estadísticamente hablando, el presente trabajo no presenta diferencia significativa de la composición de las distintas mezclas con respecto a los resultados arrojados de resistencia a la compresión, lo que podría sugerir la utilización de cualquier porcentaje de agregado grueso reciclado, siempre y cuando cumpla con el parámetro de resistencia a utilizar para un concreto no estructural.

Por último, aunque se han estudiado con anterioridad diversos puntos que caracterizan las propiedades de los agregados reciclados provenientes del concreto en comparativa con los agregados vírgenes y los múltiples beneficios que el modelo económico de reciclado de residuos trae consigo, como la optimización de recursos naturales o la minimización del consumo de energía y agua, entre otros (M.Torring, 2000), son en realidad pocos los países que cuentan con legislación que apruebe y avale el uso de dichos reciclados (Gonçalves, 2007).

## **CAPITULO 5**

## 5.1. CONCLUSIONES

El objetivo guía del presente proyecto consistía en el desarrollo de un concreto  $F'c= 200 \text{ kg/cm}^2$  amigable con el medio ambiente mediante el uso de residuos de la construcción y demolición, de la clasificación desechos del concreto, en forma de agregado grueso. Este objetivo se cumplió de manera satisfactoria y se confirma que el uso de RCD como agregado grueso en concreto es posible, específicamente cuando la resistencia de dicho concreto sea  $200 \text{ kg/cm}^2$  o menor. Asimismo se puede afirmar que para el presente trabajo, la proporción idónea de agregado grueso debe ir en el orden inferior al 50% de sustitución de agregado de primera para lograr la resistencia a la compresión establecida. De igual manera se encontró que, el uso de este tipo de residuos es factible siempre y cuando se tenga el conocimiento sobre origen de los desechos, ya que este factor podría garantizar la homogeneidad en la resistencia del residuo, lo que nos podría dar una pauta sobre la resistencia final del concreto reciclado a realizar. De lo contrario, el uso de los RCD resulta ser no tan viable, debido principalmente a la mezcla de residuos que podrían dificultar la separación y selección de los mismos, así como la diversidad de resistencias que en ellos pudieran presentarse y la complejidad que esto implica para la realización de un análisis de cada una de las muestras de residuo. En cuanto al manejo, la principal dificultad se encuentra en la recolección de los residuos, ya que se requieren de grandes volúmenes de material para la elaboración del total de concreto que requiere una obra, lo que implicaría un aumento de gastos en: la mano de obra para la selección del material y la manipulación de éstos de manera manual; un posible aumento de gasto en el transporte de los residuos (esto es considerando que dichos residuos se encuentren en distintos bancos de material o sitios de destino final y que no se encuentren en cercanía con la obra); y un costo añadido por el triturado al tamaño del agregado requerido de los materiales colectados.

Si bien existen dificultades en la actualidad, no se descarta la posibilidad de implementar planes de gestión integral que fortalezcan el manejo y disposición de RCD y el fomento a la demolición selectiva, lo que traería consigo una mejoría en la separación de acuerdo a las clasificaciones citadas dentro del marco teórico del presente documento, para con ello minimizar los costos adicionales ocasionados por la recolección del material.

Igualmente, el factor sociedad juega un papel muy importante para la difusión y aplicación de los mencionados desechos, ya que, al no pertenecer a un país con cultura del reciclaje, la percepción, aceptación y conocimiento limitado del uso de material constructivo reciclado, podrían afectar la introducción de materiales de esta naturaleza, lo que nos genera un área de oportunidad trascendental en la re educación en todos los niveles y, especialmente a nivel superior en las carreras asociadas al ramo de la construcción, en donde se propicie la concientización, importancia y el uso de agregados reciclados desde la fase experimental y de diseño.

Así pues podemos concluir que existe un gran potencial en la promoción de material residuo de la construcción y demolición para la fabricación de concretos reciclados y es necesario continuar con estos estudios para ampliar y profundizar el conocimiento en éstos materiales, los cuales por su naturaleza pueden llegar a ser muy variados dependiendo de la región de origen. De esta manera se puede impulsar el uso de manera reglamentada, atendiendo las necesidades particulares del país.

## REFERENCIAS

- [DOF], D. O. (2 de Octubre de 2009). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5112600&fecha=02/10/2009](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5112600&fecha=02/10/2009)
- Akash Rao, K. N. (2007). Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 50, 71-81.
- Ambiente, S. d. (10 de Julio de 2019). Norma Ambiental para la Ciudad de México. *NACDMX-007-RNAT-2019*.
- Badenes, R. F. (2015). *La Logística Inversa: Concepto y Definición*. Universitat Politècnica de València.
- Ballesteros Riveros Diana Paola, B. S. (2007). Importancia de la logística inversa en el rescate del medio ambiente. *Scientia et Technica*, XIII(37), 315-320.
- BBVA. (s.f.). Obtenido de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-reciclaje-y-por-que-es-importante-reciclar/>
- Carles, R. R. (2002). *Diseño concurrente* (Primera ed.). Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL.
- Carlos Bedoya, L. D. (2015). El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana. *Revista ingeniería de construcción*, 30(2).
- Circular, F. p. (s.f.). *Economía Circular*. Obtenido de <http://economiecircular.org>
- CMIC, C. M. (2013). *Plan de manejo de residuos de la construcción y la demolición*. Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, Ciudad de México.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [Const]. (1917). *Artículo 4*. (México).
- Cortinas, C. (2021). *Introducción a la economía circular en México*.
- Dale S. Rogers, D. M.-D. (2002). The Returns Management Process. *The International Journal of Logistics Management*, 13(2), 1-18.
- Dale S. Rogers, R. S.-L. (1999). Reverse logistics : stratégies et techniques. *Logistique & Management*, 15-25.
- (mayo 2020). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ciudad de México.
- Emilio, D. L. (2007). Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 43-54.
- Erik K. Lauritze, N. J. (1992). Producción de residuos de construcción y reciclaje. *Residuos: Revista técnica*(8), 40-48.

- Gonçalves, P. C. (2007). *CONCRETE WITH RECYCLED AGGREGATES*. Lisboa.
- Hendriks, C. F., & Janssen, G. (2001). Reuse of construction and demolition waste in the Netherlands for road constructions. *Heron*, 109-117.
- José M. Gómez, L. A. (1999). Cualidades físicas y mecánicas de los agregados reciclados de concreto. *Revista Construcción y Tecnología del IMCYC*, 15(167), 10-22.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, LGPGIR. (2003). [DOF]. Mexico.
- M.Torring. (2000). Management of concrete demolition waste. En K. S. Odd E. Gjorv, *Concrete Technology for a Sustainable Development in the 21st Century* (págs. 321-331). London: E & FN Spon.
- Marcelo Tonda, H. B. (2008). *UNA PROPUESTA DE RECICLADO DE HORMIGÓN PARA RAFAELA*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL, FACULTAD REGIONAL RAFAELA, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL, Rafaela, Argentina.
- Mattey Centeno Pedro Enrique, R. S. (2014). Caracterización física y mecánica de agregados reciclados obtenidos a partir de escombros de la construcción. *Informador Técnico*, 121-127.
- Mauricio, B. M. (2003). *El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles*. Universidad Nacional de Colombia , Medellín.
- Medina, M. (1999). Reciclaje de desechos sólidos en América Latina. *Frontera Norte*, 8-39.
- Mehta P. K., M. P. (2006). *Concrete: Microstructure, Properties and Materials* (Third ed.). New York: McGraw-Hill.
- Mehta P. K., M. P. (2015). El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana. En L. D. Carlos Bedoya.
- Mejía Erica, G. J. (2013). Residuos de construcción y demolición. Revisión sobre su composición impactos y gestión. *CINTEX*, 18, 105-130.
- Méndez de los Santos Noemí, R. J. (2010). Los escombros como agregados en la industria de la construcción . *KUXULCAB*, XVI(30), 37-46.
- Nieto, D. C. (2012). *Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro*.
- SEMARNAT. (2013). *Informe de la situación de medio ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores clave y Desempeño Ambiental*. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales . Edición 2012.
- SEMARNAT. (2016). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales . Edición 2015.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería

## FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA

Programas educativos de calidad reconocidos por CIEES, CACEI y CONACYT  
SGI certificado en la norma ISO 9001:2015 e ISO 21001:2018

FORMATO T-2  
NOMBRAMIENTO DE COMISIÓN REVISORA  
Y DICTAMEN DE REVISIÓN

Cuernavaca, Mor., a 8 de noviembre de 2023.

**DR. JESÚS MARIO COLIN DE LA CRUZ**  
**DRA. MARÍA DEL CARMEN TORRES SALAZAR**  
**DR. ARTURO MOLINA OCAMPO**  
**DR. OSVALDO FLORES CEDILLO**  
**MTRO. ADOLFO ENRIQUE SALDIVAR CAZALES**  
**P R E S E N T E**

Por este conducto, me PERMITO INFORMARLE QUE HA SIDO ASIGNADO COMO INTEGRANTE DE LA COMISIÓN REVISORA DE LA TESIS QUE PRESENTA PAOLA JUDITH JIMÉNEZ ROSAS, titulada: REINTEGRACIÓN DE LOS RCD COMO AGREGADO GRUESO CON BASE AL ANÁLISIS DE SUS RESISTENCIAS MECÁNICAS EN CONCRETO  $F'c=200$  Kg/cm<sup>2</sup>, realizada bajo la dirección del DR. JESÚS MARIO COLIN DE LA CRUZ del Programa Educativo de Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables. Agradezco su valiosa participación en esta Comisión y quedo a sus órdenes para cualquier aclaración o duda al respecto.

ATENTAMENTE  
*Por una humanidad culta*

**MTRA. ANGÉLICA GALINDO FLORES**  
**ENCARGADA DE DESPACHO DE LA DIRECCIÓN**

### DICTAMEN

**MTRA. ANGÉLICA GALINDO FLORES**  
**ENCARGADA DE DESPACHO DE LA DIRECCIÓN**  
**P R E S E N T E**

En respuesta a su amable solicitud para formar parte de la Comisión Revisora de la tesis mencionada y una vez realizada la revisión correspondiente, me permito informarle que mi VOTO es:.

### DICTAMEN

NOMBRE	VOTO	FIRMA
DR. JESÚS MARIO COLIN DE LA CRUZ	Aprobado	
DRA. MARÍA DEL CARMEN TORRES SALAZAR	Aprobado	
DR. ARTURO MOLINA OCAMPO	Aprobado	
DR. OSVALDO FLORES CEDILLO	Aprobado	
MTRO. ADOLFO ENRIQUE SALDIVAR CAZALES	Aprobado	

Se anexan firmas electrónicas

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

ANGELICA GALINDO FLORES | Fecha:2023-11-08 14:21:13 | Firmante

jNQp693SNaAM99stRvoHoLqfA8EYSjyKJHNM9NjHcoMA4p2YV9XefczGqXULj/1LNdmQ1dCWltnk3Zq8OWQ+9zHifspMayQoqLn6DuE8vhEjScdzyDIMDVoSLCU7r1PoUTvagzUExZWGgtDHhY4oAFmTt0HTUOe0xmq4WzpEL2SittHLLIQ7/4J5WJehhSf7b+P4GtF1dbnFGR1AGxcOT4uUsu686fCVk17UAz8P53NKXTBhk+dXjEiilHLZWRRe2/exj8mjR1m/9FOA8sh7d4jhKuVBNAVhx6xSQCBou+CubtadlbyZ58lx6v5JYd0BysfWR+x/R9hRiF97zcoCGg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



tBp6zfC72

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/9JIDcoMfxY9Doa6deEWwkh45vDuTLeHp>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**MARIA DEL CARMEN TORRES SALAZAR | Fecha:2023-11-08 20:09:17 | Firmante**

CNjSoD1bXRdCfPATOG/is4MUIXfXyvt/beHbIX11WZpMfF+O6tcW714xLDXFMepkePujwCpJOPFgMLT6Arvo9wacape4U4P6POyJExDY00SS7pzEH2vChaBF75vWJhQi5XLYp3baKsoSF/69H/p7XvBBaGSXZYKdX61zomPu0tVfDv/aEVPrtncGSprq4Es02mkB8C6ihj+gp/LHO0QqNqtrdMx/xTu7bnGrspcDNtc1DU+/z1jXENRHHIMP0G8YXnH0tOEPrH+WqqR9K3jeUjgh/tywWotfyp6HpUqgTmqQ/V9Kk4nlgSYiSA/zL5nq63W4JYapgoHwkPZecg==

**ADOLFO ENRIQUE SALDIVAR CAZALES | Fecha:2023-11-09 14:27:41 | Firmante**

zD4FSml/kCCNU0CKQi27cwARDQIAzX1zCDH7gvdyoqLOW6FQ7ACU/Vv9F9xLF+S1NYamDN7JDGj56a2doBvaJ7QMwnkRIORx3T0m8uVmxJa8z92laLDVpvNrXQR/EgQeP U2wjolnIHQQXhR4O0S+5Dl3SbFu6jF/4dEKOL3Ugwt3ScZ2ZDxQOguC04iTOvWCb2gzOzNgnbXhlnQoX/D3OP1o/yJPYZL13AKcnUelxndKKhVg7qHeHMJMpyd0VBu7SMhF/pB8tbGqNXrDuQoKqZ80u6GMgy4URENwwg8qr571u80YnA9aW4L7ipJblf+W+UH8acMCP6/f0vURcP0JQ==

**OSVALDO FLORES CEDILLO | Fecha:2023-11-09 15:22:06 | Firmante**

TWlHml8CKRiQ2UINytgQuPaN2C3Elk16r0/Ru7Mn+1uVryWjVbdZdxdrTqoCTN8lrQjA/bssmAJBfwSuaEj1UdcQJ9ozVKb1ou/Ljv+VEqFze+qitjdLMf+/297WBaxPNzvH+MclV4/UZqn7ptgt3PD4SaJk+AliJPTgKd1B5Fz5IH/tq+BQs+WRK9FjwgT4/HSMClvoUkpG0CM8O3cRPZl8WQigwIA7e3UDUuHUV5m10HpLmdkRPdCjox9i66K/aV0gFIRi6+aLi1OLTMOPq9Z5vSYNuWO/KVP+mLXDoLi9eTljb9q1m6FR1oEqla8OEGXBGZX0I35ss33Vh0AdA==

**ARTURO MOLINA OCAMPO | Fecha:2023-11-09 15:46:45 | Firmante**

qdOUkd/8URz3/Dyht+8zb6j6A0DIDsvd2xf6+s1jxn58mTIKjgjx0Goqe1oae5MAM3h758BjJoDsXZB3epwCcop8lCGtXETFT6X+X852P1yxOeVy9elqe4qe5Aou1XwkHagCRuEZIT28RAnltbXMi5gWmwKBsF0kOxcEHfIMZY8UCjF5y2xYYdOzLVB6NkwHdKAMYii403REp83j4jd+2j3/VV91svWj9ZBvFJqLbTR2AKC/qfH6lAdrxKENZArHq+Ay4zgwR0Q22uOT6aR6yA+6QevpW/vV96BC+ufW4vtycmY2uEoC2fynrj4rmwCsD7yUVEFwTLTwbCzCfsya8g==

**JESUS MARIO COLIN DE LA CRUZ | Fecha:2023-11-10 13:24:25 | Firmante**

eQpjrbec/8xg8YwBYUQ0pXn+4wXnOCjQCnUJqifSWi6n0G44XLPkCpKFBaioDUQ7lg7ZXfbstQGSBlmWwYGzxNlcGldkQGldSbg6N6uPk5QGCzCbDI9J8j5cBMBJwyXs9gsMBpUJQUnWxc5exqTBCtNCvzrL80w7uusPpvntlRj6VD8oGHXzEqY5GHFkpUEV9U8I8Mca+gSrEvEdNtl7Htk8+LHDM7J5ju/HjwXsTXFqtMQDnCSnOcH7MQPZ3Zh/OKPladJA2PicTlG3mRUlB3DsfBmJtJ8uOr2shtOvqA2Y070BllnWUYJXIJMUhS5155upGvevUixVcjt/nrbg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



4PUgbz1us

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/ZoOV8qkGlfrLWCnxegq01769S3dJjcwE>

