



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,
Volumen 8, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6

ANÁLISIS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE AGREGADO GRUESO POR CONCRETO RECICLADO TRITURADO Y PLASTIFICANTE

**COMPRESSIVE STRENGTH ANALYSIS OF CONCRETE WITH
PARTIAL REPLACEMENT OF COARSE AGGREGATE WITH
CRUSHED RECYCLED CONCRETE AND PLASTICIZER**

Armando Nicolás Moreno Juárez

Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ingeniería Civil U.L, México

César Ponce Palafox

Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ingeniería Civil U.L, México

Germán Ernesto Guerra Pérez Gavilán

Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ingeniería Civil U.L, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15673

Análisis de resistencia a compresión de concreto con sustitución parcial de agregado grueso por concreto reciclado triturado y plastificante

Armando Nicolás Moreno Juárez¹nicolas.moreno@uadec.edu.mx<https://orcid.org/0000-0002-1997-3932>Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de
Ingeniería Civil U.L
México**César Ponce Palafox**cesarponce@uadec.edu.mx<https://orcid.org/0000-0002-5991-3395>Universidad Autónoma de Coahuila, Escuela de
Arquitectura U.L
México**Germán Ernesto Guerra Pérez Gavilán**germanguerra@uadec.edu.mx<https://orcid.org/0009-0006-2044-1665>Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de
Ingeniería Civil U.L
México

RESUMEN

En la presente investigación pretende ofrecer valor agregado al escombro producido por concreto demolidos, al ser reutilizado como agregado grueso en la fabricación de concreto nuevo, con el fin de reducir el gran impacto ambiental que se vive hoy en día a causa de las actividades provenientes de la actividad de construcción. Se diseñaron 3 tipos de mezcla con dosificaciones diferentes, uno con el 100% de agregado grueso natural (MR), uno con el 40% (M1) y con el otro 40% con el aditivo plastificante (M2) para un concreto, con un total de 27 muestras cilíndricas. Posteriormente se realizaron pruebas de resistencia a la compresión mediante probetas cilíndricas de 30 cm de altura por 15 de diametro a 7, 14 y 28 días de curado. En los resultados obtenidos se puede observar que M1 y M2, son superiores a MR y a la resistencia de diseño. Concluyendo que, el concreto con agregado grueso reciclado en las proporciones aplicadas en la prueba incrementan las resistencias requeridas.

Palabras clave: concreto reciclado, escombro, plastificante, resistencia a compresión

¹ Autor principal.

Correspondencia: nicolas.moreno@uadec.edu.mx

Compressive strength analysis of concrete with partial replacement of coarse aggregate with crushed recycled concrete and plasticizer

ABSTRACT

The purpose of this research is to offer added value to the rubble produced by demolished concrete, to be reused as coarse aggregate in the manufacture of new concrete, in order to reduce the great environmental impact that is experienced today due to the activities resulting from the construction activity. Three types of mixes were designed with different dosages, one with 100% natural coarse aggregate (MR), one with 40% (M1) and the other 40% with plasticizing additive (M2) for a concrete, with a total of 27 cylindrical samples. Subsequently, compressive strength tests were carried out using cylindrical specimens 30 cm high by 15 cm in diameter at 7, 14 and 28 days of curing. The results obtained show that M1 and M2 are superior to MR and the design strength. Concluding that, the concrete with recycled coarse aggregate in the proportions applied in the test increases the required strengths.

Keywords: recycled concrete, rubble, plasticizer, compressive strength

Artículo recibido 17 octubre 2024

Aceptado para publicación: 21 noviembre 2024



INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas del sector constructivo, son las actividades que de ella emanan como los residuos de la construcción y demolición (RCD); en México se establece el manejo integral y clasificación de los mismos mediante la aplicación de la norma NADF-007-RNAT-2019, en la que se definen los tipos de residuos (materiales, productos generados durante las actividades de construcción, entre otros) (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2019). La contaminación de suelo y agua suele ser uno de los principales problemas, además de los RCD presentan pérdidas de materiales de construcción y eficiencia en los procesos constructivos, que conllevan a un mayor uso de recursos no renovables y agua, incrementando los efectos sobre el medio ambiente (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2019).

En un estudio realizado por la Dirección General del Medio Ambiente de la ciudad de Torreón, Coahuila, México en el periodo 2014 – 2017 se registraron 581,290 m³ de escombros que ingresaron al Cañón del Indio, según Garza (2017) se recolectaron en promedio 530 toneladas de escombros por día, a su vez el titular del Instituto Municipal de Planeación y Competitividad de Torreón, José Antonio Ramírez, en 2022 se registró que en la Comarca Lagunera genera alrededor de 576 mil toneladas anuales de residuos de los cuales, cabe resaltar, solo un porcentaje se depositan adecuadamente en los tiraderos autorizados, mientras un gran porcentaje se depositan clandestinamente en canales de riego y predios ubicados en partes traseras de fraccionamientos cerrados sin ningún tipo de recuperación o reutilización generando una problemática ambiental (Rincon, 2022).

A nivel mundial, se han planteado diversas estrategias para reducir la contaminación generada por los RCD, por ejemplo, en Chile se realizó un estudio con el fin de reutilizar los RCD como agregado grueso, concluyendo en que a mayor cantidad de árido reciclado que se agrega a la muestra; menor es su resistencia y que también tienen una mayor absorción (Navarro, 2023). Otro estudio que se realizó en Colima, México, por el arquitecto Luis Gerardo Díaz Álvarez en noviembre del 2018 demostró que los RCD pueden ser aprovechados como agregado grueso y fino, pero recomienda que se utilice para elementos de baja resistencia como banquetas, firmes, machuelos, cerramientos, rampas de acceso peatonal y vehículos ligeros ya que recomienda hacer más pruebas para detectar alguna variante en las resistencias (Díaz, 2020).



Con lo anterior expuesto se manifiesta la conveniencia ambiental de la reutilización de los RCD, sin embargo, las propiedades de los elementos en donde se aplican pierden capacidades mecánicas.

Para solventar esta deficiencia de baja resistencia adquirida por la sustitución de elementos pétreos por RCD, se propone el uso de un plastificante, dado que éste aporta al incremento a las resistencias mecánicas, dependiendo del uso que se le dé, ya sea como aditivo o bien como reductor de agua; para lograr la reincorporación de materiales en la cadena productiva y al mismo tiempo se ofrece una solución temprana a un problema medio ambiental.

Para ello, en este proceso experimental se usó el escombros generados por la actividad de construcción usándolos parcialmente como agregado grueso para la fabricación de concreto añadiendo el aditivo súper plastificante con el objetivo de encontrar una solución a dicha problemática buscando maneras de aprovechar los desechos generados en el sector de la construcción, así mismo ayudando al medio ambiente, sin afectar la resistencia a compresión del concreto modificado.

METODOLOGÍA

El proceso experimental tuvo como base la elaboración de un concreto simple fabricado con cemento Portland compuesto 40 (CPC40); como agregado fino arena de río, agregado grueso grava de piedra caliza; el tamaño de partículas tanto del agregado fino como el agregado grueso cumplieron con lo indicado en la norma mexicana NMX-C-111-ONNCCE-2018, (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., 2018).

Se analizaron los porcentajes de absorción a los agregados gruesos y finos, con los métodos establecidos en las normas mexicanas NMX-C-164-ONNCCE-2014 (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 2014) y NMX-C-165-ONNCCE-2014 (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C., 2014) respectivamente. Obteniéndose los resultados de porcentaje de absorción mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1 Porcentaje de absorción de agregado grueso y agregado fino

Grava	Arena
(%)	(%)
2.94	1.90

Con los porcentajes de absorción obtenidos, se establece una relación agua-cemento de 0.495, estableciéndose entonces la dosificación del concreto convencional (MR) como lo muestra la Tabla 2.

Tabla 2 Dosificación de concreto convencional (MR)

Cemento (g)	Grava (g)	Arena (g)	Agua (ml)
1000	2480.00	2640.00	610.00

El residuo de concreto que se usó para fabricar el agregado grueso reciclado se obtuvo del laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil U.L. de la Universidad Autónoma de Coahuila (México), por lo que las resistencias mecánicas que tenían los RCD son variadas y no clasificadas. Los RCD fueron triturados hasta obtener tamaños de partículas de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ ", buscando que todo el agregado tuviera el mismo tamaño el agregado grueso natural también fue clasificado a el mismo tamaño de partículas ($\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ ") en cantidades similares para mayor control en el proceso experimental..

La sustitución parcial del agregado grueso se determina por peso al 40% en cada uno de los tamaños de partículas determinados, definiéndose entonces como muestra 1 (M1).

Se realizó otra modificación a MR, en el cual se mantiene el agregado grueso reciclado al igual que en M1, agregándole un aditivo fluidificante-reductor de agua para concreto de medio rango (M2), base lignosulfonado para proporcionar fluidez, mejorar la cohesión y mejorar resistencias mecánicas del concreto; la dosificación indicada para el aditivo es de 3 a 8 cm³ por kilogramo de cemento, definiéndose el uso de la menor cantidad sugerida, el aditivo cumple con la norma ASTM C494 (American Society for Testing and Materials, 2022).

Quedando las dosificaciones de MR, M1 y M2 como se muestran en la Tabla 2.

Tabla 3 Dosificaciones MR, M1 y M2

Descripción	MR	M1	M2
Cemento (g)	1000.00	1000.00	1000.00
Grava $\frac{1}{2}$ " (g)	1240.00	744.00	744.00
Grava $\frac{3}{4}$ " (g)	1240.00	744.00	744.00
Concreto Triturado Reciclado $\frac{1}{2}$ " (g)	-	496.00	496.00
Concreto Triturado Reciclado $\frac{3}{4}$ " (g)	-	496.00	496.00
Arena (g)	2640.00	2640.00	2640.00
Agua (ml)	610.00	610.00	610.00
Aditivo (cm ³)	-	-	3.00

Determinadas las dosificaciones se fabricaron 9 cilindros de cada mezcla, con el proceso indicado en la norma mexicana NMX-C-159-ONNCCE-2016 (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C., 2015). Las probetas cilíndricas de 150 x 300 mm, posterior a su fabricación y transcurridas 24 horas se desmoldaron y se sometieron a curado húmedo por inmersión durante períodos de 7, 14 y 28 días, tal y como lo establece la norma mexicana NMX-C-159-ONNCCE-2016 (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C., 2015), pasado el tiempo definido, se procedió a realizar las pruebas de resistencia a compresión en una máquina de ensaye a compresión marca Matest modelo C089-02D de 2000 kN de capacidad, semi-automática, con el procedimiento iniciado en la norma NMX-C-083-ONNCCE-2014 para determinar la resistencia a compresión de especímenes de concreto (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., 2014).

Figura 1 Máquina de ensaye a compresión marca Matest y probetas de concreto



Con la carga obtenida (kg) y el área de la probeta (cm²) se obtiene la resistencia a compresión con la aplicación de la siguiente ecuación:

$$f'c = \frac{F}{A}$$

Donde:

F_c = Resistencia a compresión

F= Carga máxima en kg.

A= Área del espécimen en cm^2 .

Por cada edad establecida se ensayaron 3 muestras, si la diferencia entre la resistencia más alta y la resistencia más baja obtenida fue igual o menor al 10 % se obtuvo la resistencia promedio de las tres piezas, por el contrario, si se presentaron diferencias mayores al 10%, se obtiene la relación entre el resultado medio y el más bajo, de igual manera, del resultado medio al más alto, y se toma la relación igual o menor al 10% del cual se obtiene la resistencia promedio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los ensayos a compresión promedios obtenidos en las muestras MR, M1 Y M2 con edades de 7, 14 y 28 se muestran en las Tablas 4, 5 y 6.

Tabla 4 Resistencias a compresión de muestra MR a 7, 14 y 28 días

Edad (días)	Resistencia a Compresión Promedio (kg/cm^2)
7	57.03
14	84.92
28	111.43

Tabla 5 Resistencias a compresión de muestra M1 a 7, 14 y 28 días

Edad (días)	Resistencia a Compresión Promedio (kg/cm^2)
7	100.99
14	112.28
28	125.28

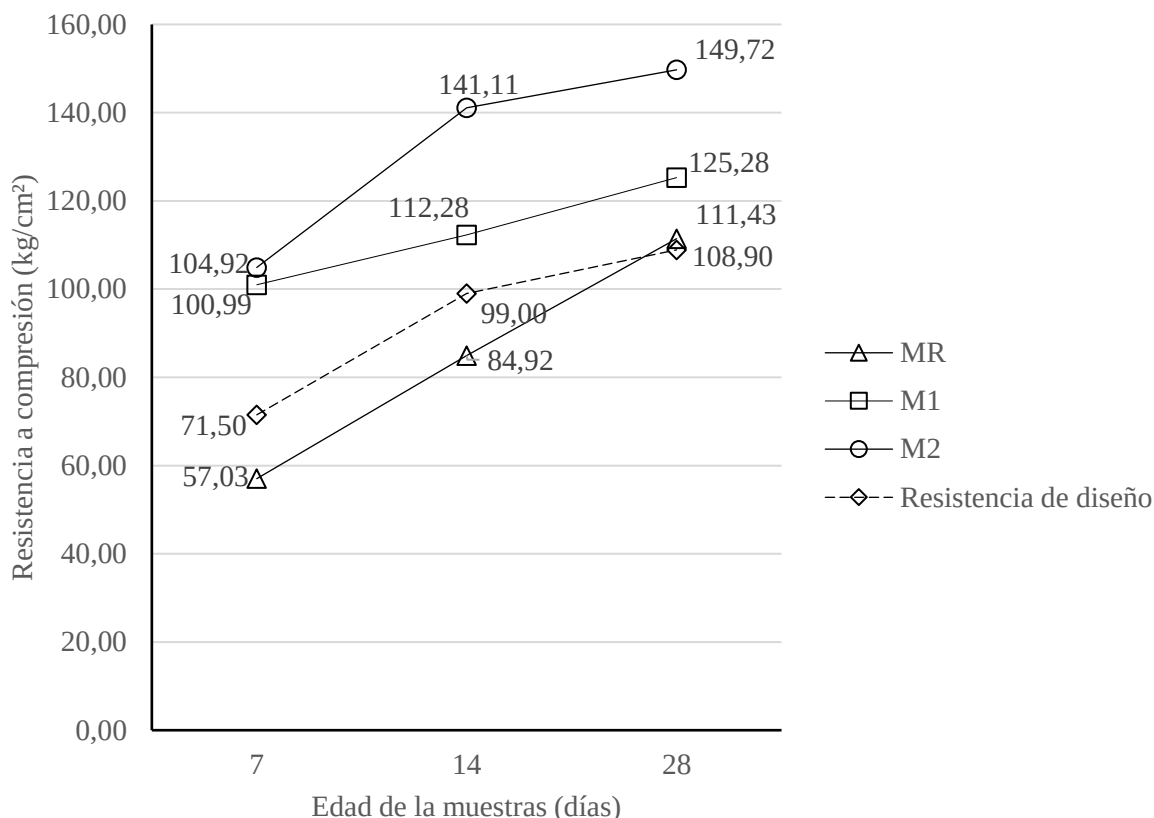
Tabla 6 Resistencias a compresión de muestra M2 a 7, 14 y 28 días

Edad (días)	Resistencia a Compresión Promedio (kg/cm^2)
7	104.92
14	141.11
28	149.72

En la figura 1 se puede observar los valores de la resistencia a compresión de las piezas de concreto diseñado para obtener una resistencia final de $150 \text{ kg}/\text{cm}^2$; con la adición de RCD en las proporciones de 0%(MR), 40% (M1) y 40% (M2) con súper plastificante, en los 7, 14 y 28 días de curado.



Figura 2 Resistencia a compresión de MR, M1, M2 y Resistencia de diseño de concreto.



Como se mencionó anteriormente el concreto para la muestra de referencia MR se diseñó par obtener una resistencia final a los 28 días de edad de 120 kg/cm², considerando que a los 7 días de fabricado el concreto debe de alcanzar un 65% de su resistencia de diseño, a los 14 días un 90% y a los 28 días un 99%; las resistencias deseadas en las edades estipuladas se muestran en la Figura 2 identificado como resistencia de diseño.

Tomando como base lo mencionado anteriormente, a los 7 días de la fabricación de las piezas; se observa que base a la resistencia de diseño, la muestra MR presentó una resistencia menor del 20.24%, sin embargo, los dos especímenes con RCD, mostraron resistencias mayores a la resistencia de diseño, M1 en 41.25% y M2 un 46.74%.

A los 14 días se mantuvo el mismo comportamiento que a los 7 días de edad, donde, MR obtuvo una resultado menor del 14.22%, M1 y M2 con aumentos del 13.41% y 1.43% respectivamente; todo respecto a la resistencia de diseño.

A los 28 días de edad, todas las muestras (MR. M1 y M2) superaron la resistencia esperada en 2.32%,

15.04% y 37.48% respectivamente.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de resistencia a la compresión, se puede observar que la muestra hecha a base del 100% de agregado grueso natural tuvo un aumento constante en su resistencia a los 7, 14 y 28 días por lo que se le considera una muestra de referencia aceptable.

Los resultados positivos de las muestras M1 y M2, se atribuye a dos factores; primero, el agregado grueso reciclado presenta menor densidad y mayor absorción de agua que el agregado grueso natural según (Bossini et al, 2018), por lo que en M1 y M2 al tener el 40% de agregado reciclado en la muestra, absorben gran parte del agua, por lo que, la relación agua-cemento se afecta y disminuye aumentando así la resistencia de las probetas.

Con la incorporación del aditivo plastificante en las piezas M2, este aportó una mayor dispersión de los agregados, mejorando la fluidez de la mezcla, evitando la formación de flóculos e incrementado la densidad del concreto y disminuyendo la cantidad de vacíos en las muestras, logrando un aumento significativo de resistencia de compresión.

CONCLUSIONES

El uso del agregado reciclado como sustituto del agregado grueso tradicional en porcentajes del 40% y del 40% por ciento con la inclusión del aditivo súper plastificante son viables para ser usado en un concreto convencional, dada que la resistencias obtenidas superaron la resistencia de diseño y de la muestra de referencia, de igual manera al uso del aditivo superplastificante abre la puerta al estudio de la reducción de la cantidad de cemento, por lo que su uso mostraría un impacto positivo en el medio ambiente (Moreno et al, 2022).

La consultoría geográfica Geoinnova menciona que la extracción de piedra caliza en las actividades de minería a cielo abierto ocasiona problemas ambientales, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

Daños a la superficie terrestre alterando la morfología de la corteza, generando además, cambios visuales por la explotación.

Contaminación de aire, dado que se genera materia demasiado fina, y son ingeridos al respirar por humanos y animales.

Los polvillos generados en el proceso de extracción de las canteras contaminan aguas superficiales y se impacta negativamente la flora y fauna de las zonas aledañas a las canteras.

Los desechos finos contaminan mantos acuíferos, por filtraciones al subsuelo.

(Geoinnova Consultoría Geográfica, 2016)

El uso de agregados grueso reciclados de concreto, aportan a la disminución de la explotación de recursos minerales, en este caso de la piedra caliza, , apoyando al decremento de la huella de carbono que representa la obtención de los agregados gruesos.

Se recomienda determinar el porcentaje de absorción en los agregados reciclados involucrados en la fabricación de concreto con el fin de determinar la cantidad de agua, modificando la dosificación de las mezclas. En esta investigación se concluye que el agregado grueso natural y con sustitución parcial de RCD, es una opción viable para la fabricación de concretos, sin pérdidas en sus propiedades mecánicas y con la incorporación de aditivos plastificantes y superplastificantes aumentan dichas propiedades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society for Testing and Materials. (2022). ASTM-C494/C494M Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. West Conshohocken, Pennsylvania, United States: ASTM International.

Bossini, G., Cáceres, M., & Anaya, D. (2018). Influencia de agregados reciclados provenientes de (RCD) en hormigón. Facultad de Ciencias Forestales UNCE.

Díaz, L. (2020). APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS EN COLIMA. DSpace Repository. Obtenido de <https://dspace.itcolima.edu.mx/handle/123456789/1478>

Garza, M. S. (2017). Sistema de Información Ambiental de la Ciudad de Torreón. Torreón: Dirección General de Medio Ambiente de Torreón.

Geoinnova Consultoría Geográfica. (16 de Mayo de 2016). Geoinnova. Obtenido de [geoinnova.org: https://geoinnova.org/blog-territorio/mineria-cielo-abierto-impactos/](https://geoinnova.org/blog-territorio/mineria-cielo-abierto-impactos/)

Moreno, A. N., Ponce Palafox, C., Ávalos Belmontes, F., & Múzquiz-Ramos, E. M. (2022). Residuos de mármol en materiales para la construcción: una revisión del uso del polvo de mármol en morteros, concretos y ladrillos. Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de



Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, 12(2), 162-183.

Navarro, A. (2023). Estudio sobre la aplicación de la Norma Europea EN 12620 para la reutilización Residuos de Construcción y Demolición (RDC) como agregado grueso en la fabricación de hormigón estructural en Chile. Repositorio Academico Universidad de Chile. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/194755>

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C. (2015). NMX-C-159-ONNCCE-2016 Industria de la Construcción-concreto-Elaboración y curado de especímenes de ensayo. Ciudad de México: ONNCCE S.C.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. (2014). NMX-C-164-ONNCCE-2014 Industria de la Construcción-Agregados-Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Grueso. Ciudad de México: ONNCCE, S.C.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. (s.f.). NMX-C-122-ONNCCE-2004. En Agua para cemento - Especificaciones. Ciudad de México: ONNCCE SC.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (2014). NMX-C-083-ONNCCE-2014 Industria de la Construcción - Concreto - Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes - Método de Ensayo. Ciudad de México: ONNCCE, S.C.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (2018). NMX-C-111-ONNCCE-2018 Industria de la Construcción-Agregados para Concreto Hidráulico-Especificaciones y Métodos de Ensayo. Ciudad de México: ONNCCE S.C.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C. (2014). NMX-C-165-ONNCCE-2020 Agregados-Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino-Método de ensayo. Ciudad de México: ONNCCE, S. C.

Rincon, L. (13 de agosto de 2022). En La Laguna se estima una generación de 576 mil toneladas de escombros al año. Noticieros Grem, pág. 1.

Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (2019). Norma Ambiental para la Ciudad de México PROY-NADF-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.

Ciudad de México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.

