



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA

**FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA EMPRESA DE BASE
TECNOLÓGICA PARA LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS URBANOS,
ELABORADOS CON BASE EN RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y
DEMOLICIÓN (RCD): ANÁLISIS TÉCNICO DE PRODUCTOS Y
MAQUINARIA**

TESIS:
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTAN:

**ALLAN DAVID SÁNCHEZ MÁRQUEZ
JUAN RUBÉN SERRALDE LEALBA
JORGE ALBERTO LÓPEZ MÁRQUEZ**

BAJO LA DIRECCIÓN DE:
DRA. YAMILE RANGEL MARTÍNEZ

CODIRECCIÓN:
DR. FRANCISCO JAVIER OLGUÍN COCA

PACHUCA DE SOTO, HIDALGO, MÉXICO.
DICIEMBRE, 2015.



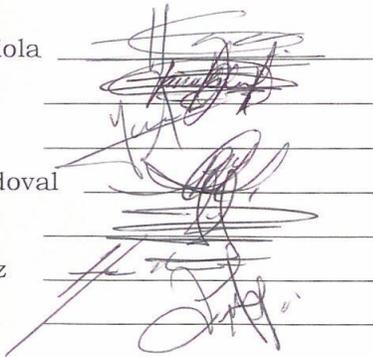
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
Institute of Basic Sciences and Engineering
Área Académica de Ingeniería
Engineering Department

Oficio No: INCI/AAI/708/2015

M. en C. Cesar Leines Medécigo
 Director de Administración Escolar de la UAEH
 Presente

Por este conducto le comunico que el **Jurado** asignado a los pasantes **López Márquez Jorge Alberto, Sánchez Márquez Allan David y Serralde Lealba Juan Rubén** quienes presentan el trabajo de tesis con el Título **“Factibilidad de implementación de una Empresa de Base Tecnológica para la fabricación de elementos urbanos, elaborados con base en residuos de construcción y demolición (RCD): análisis técnico de productos y maquinaria”**., después de revisar el trabajo ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

- Presidente: Dra. Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola
- Secretario: Dr. Francisco Javier Olguín Coca
- Primer Vocal: Dra. Yamile Rangel Martínez
- Segundo Vocal: Dra. Ma. Del Refugio González Sandoval
- Tercer Vocal: Dr. Luis Daimir López León
- Primer Suplente: Dr. Humberto Iván Navarro Gómez
- Segundo Suplente: Arq. Valeria Volpi León



Sin otro particular y no dudando de su apoyo, aprovechamos para reiterarle las seguridades de nuestra distinguida consideración.

Atentamente
 “Amor, Orden y Progreso”
 Mineral de la Reforma, Hidalgo, el 25 de noviembre de 2015.

Dr. Francisco Javier Olguín Coca
 Coordinador de la Licenciatura de Ingeniería Civil



Ciudad del Conocimiento
 Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5
 Colonia Carboneras
 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184
 Tel. +52 771 7172000 exts. 4000 y 4001, Fax 2109
 aai_icbi@uaeh.edu.mx



www.uaeh.edu.mx

RESUMEN

Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) por su volumen y composición, son considerados como unos de los contaminantes de mayor relevancia a nivel mundial, ya que generan un alto impacto visual y deterioro a los diferentes ecosistemas, como el suelo y agua, cuando son depositados en algún sitio; y al aire, cuando los residuos son transportados a su disposición final, ya sea legal o de manera ilícita.

La implementación de una Empresa de Base Tecnológica (EBT) dedicada a la elaboración de mobiliario urbano realizado con los residuos de construcción y demolición, traería consigo grandes beneficios dentro de la infraestructura actual de nuestro país, así como la reducción del impacto ambiental causado por los microvertederos existentes, evitando llevarlos a su disposición final y dándoles un ciclo de vida renovado de tal manera que se promovería el reúso y reciclaje de dichos residuos, principalmente de concreto demolido. Una empresa de estas características, utilizaría técnicas e innovaciones en los procesos de trituración y clasificación de RCD. Pensando en reutilizarlos al crear productos útiles y al alcance de la gente, tales como bancas, bolardos y postes para cestos de basura para parques o plazas públicas. En este trabajo, se exponen las características mecánicas de los agregados reciclados para la obtención de una buena calidad en el concreto, en base a la normativa ASTM, el Instituto Americano del Concreto (ACI por sus siglas en inglés), en la norma 211.1-70 y la normativa mexicana equivalente NMX-C-111-ONNCCE-2004. Obteniéndose resultados sobresalientes en el diseño de mezclas y producción del concreto al utilizar agregados reciclados en proporciones de 100%, 50% y 30% con respecto al agregado natural. Siendo el reciclado de materiales un ambicioso proyecto que nos llevará a crecer como país.

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

Por guiar mi camino en todo momento, iluminando mis pasos para no perder el rumbo.

A nuestras familias.

Por su apoyo incondicional en todo momento de mi vida, así como el cariño y consejos brindados.

A la UAEH.

Por ser mi segunda casa, en donde aprendí las bases de la profesión de la que ahora estoy orgulloso.

A nuestros profesores.

Por las enseñanzas brindadas durante estos últimos 5 años.

A nuestra tutora. Dra. Yamile Rangél Martínez

Por el tiempo, dedicación y conocimiento compartidos para con nosotros, sus tesis.

Al Dr. Francisco Javier Olguín Coca

Por el apoyo brindado para poder concluir nuestra tesis.

A la Dra. Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola

Por sus consejos, tiempo y colaboración tanto en su clase como fuera de ella.

Al Mtro. Emiliano Moreno

Por sus conocimientos compartidos dentro de laboratorio y la amistad brindada fuera de él.

A todos ellos por haber sido parte de nuestra formación académica y este camino que hoy concluye satisfactoriamente con nuestra etapa universitaria por medio de este trabajo.

ALLAN, JORGE Y RUBÉN.

DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado las fortalezas para continuar cuando estuve a punto de caer; por ello, con toda humildad dedico primeramente mi trabajo a Dios.

De igual forma, dedico esta tesis a mis padres, **ALEJANDRO SERRALDE GARCÍA, MARIELA LEALBA GUADARRAMA** que han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, por el valioso apoyo que siempre me brindaron durante mi carrera profesional. Por su fe y su confianza, oraciones y sabios consejos que me han guiado siempre hacia adelante.

A ustedes hermanos **ALEJANDRO SERRALDE LEALBA y SERGIO SERRALDE LEALBA**, por el apoyo moral que durante mis estudios me brindaron en el logro de un importante objetivo de mi vida.

A mi **FAMILIA** en general, porque me han brindado apoyo incondicional y compartir conmigo grandes momentos.

A todos los **MAESTROS** que he tenido a lo largo de toda mi formación académica, quienes se han tomado el arduo trabajo de transmitirme sus diversos conocimientos, han sabido encaminarme por el camino correcto y ofrecido sabios consejos para lograr mis metas y lo que me proponga

Por último a mis **COMPAÑEROS y AMIGOS** presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento y alegrías, y a todas aquellas personas que durante la realización de éste trabajo estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

Gracias a todos

ING. JUAN RUBÉN SERRALDE LEALBA

DEDICATORIAS

Dedico esta tesis a:

MIS PADRES.

MTRO. REYNALDO DAVID SÁNCHEZ FLORES Y MTRA. SUSANA MÁRQUEZ RODRÍGUEZ:

Que me regalaron la bendición de la vida y forjaron con su amor, esfuerzo, tiempo y dedicación, lo que ahora soy; brindándome ese apoyo incansable en cualquier circunstancia, inculcarme los valores que hoy poseo, por estar conmigo en las buenas, las malas y en las peores y por todos los desvelos que hoy culminan en este trabajo que también es suyo. Los amo...

MIS ABUELOS.

EVARISTO MÁRQUEZ LEÓN Y ANA MÁRIA RODRÍGUEZ CRUZ:

Por haber fungido como mis segundos padres, por enseñarme la humildad y a no perder el piso, por mostrarme el valor del trabajo duro y a empezar de cero. Por su apoyo y tolerancia. Por su cariño. Este trabajo es suyo también...

ANA MÁRIA FLORES MORALES:

Porque en vida siempre me amaste, me cuidaste, animaste y me apoyaste en todo momento. En tu memoria, abue...

A MI FAMILIA.

COMPUESTA POR MIS TÍOS, PRIMOS Y SOBRINOS:

Que me han brindado su cariño en cualquier situación, que con consejos y palabras de aliento me han apoyado para salir adelante.

A MIS AMIGOS.

LOS QUE SE CUENTAN CON LOS DEDOS DE UNA MANO:

A ustedes los que me han acompañado a lo largo de estos años, acompañando con risas los buenos ratos y con palabras de aliento en los que no han sido tan buenos. A ustedes en quienes pude encontrar un hermano sin compartir la misma sangre.

ING. ALLAN DAVID SÁNCHEZ MÁRQUEZ

DEDICATORIAS

Dedico esta tesis a:

Mis Padres

ALEJANDRO LÓPEZ ISLAS Y ALEJANDRA ELIZABETH MÁRQUEZ MÁRQUEZ.

Gracias por depositar su confianza y apoyo en mí, el creer que realizaría con éxito mi vida profesional y darme las bases para aspirar a un mejor nivel de vida. Cada uno de mis logros es un reflejo del esfuerzo y trabajo que realizaron para sacarme adelante.

A mi hermano **FERNANDO LÓPEZ MÁRQUEZ:**

Por los buenos momentos que hemos compartido y por el apoyo que me has brindado, sé que siempre puedo contar contigo. Parte de lo que he logrado es gracias a ti.

A mis abuelos, tías y primos:

A ustedes que han sido parte de buenos y malos momentos pero siempre han brindado su apoyo y cariño a lo largo de mi vida. Gracias por mostrar su interés y preocupación por mí.

ING. JORGE ALBERTO LÓPEZ MÁRQUEZ

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1. GENERALIDADES	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Problemática	4
1.3 Justificación	6
1.4 Hipótesis	8
1.5 Objetivo general.....	8
1.6 Objetivos específicos	8
1.7 Metas.....	9
CAPITULO 2. MARCO TEORICO	10
2.1 Actualidad del reciclado de materiales de construcción en México	10
2.1.1 Concretos Reciclados S.A de C.V.	11
2.1.2 Bordo Poniente.....	12
2.2 Marco jurídico y normativo relacionado con el manejo y gestión de los RCD y Agregados reciclados.	13
2.2.1 Legislación y Normativa Internacional.....	13
2.2.1.1 Granulometría.	13
2.2.1.2 Porcentaje de finos.	15
2.2.1.3 Contenido de partículas de tamaño inferior a 4 mm.	15
2.2.1.4 Densidad y absorción.....	18
2.2.2 Legislación y normativa mexicana.....	20
2.3 Definición y características técnicas de los RCD.	21
2.4 El concreto reciclado como principal RCD.	23
2.4.1 Utilización del concreto reciclado como agregado	25
2.4.2 Características técnicas del concreto reciclado preparado con agregados reciclados y agregados naturales.....	26
2.4.3 Trabajabilidad y durabilidad del concreto.....	28
2.4.4 Impurezas encontradas en el concreto reciclado y su efecto.....	29
2.5 Gestión de los RCD	31
2.5.1 Obtención de agregados a partir de los RCD	32

2.5.2	Limpieza preliminar.....	32
2.5.3	Reducción de tamaño.....	33
2.5.4	Trituración primaria.....	33
2.5.5	Características técnicas de la maquinaria utilizada para la trituración.....	34
2.6	Empresas de Base Tecnológica.....	36
2.6.1	Características que definen a una EBT.....	36
2.6.2	Metodología para la creación de EBT.....	37
2.6.3	Empresas de Base Tecnológica en México.....	39
2.7	Elementos fabricados con RCD (Bolardos, bancas y poste-cesto basura).....	39
2.7.1	Diseño de sistemas de protección para delimitar espacios urbanos.....	39
2.7.1.1	Bolardos de concreto.....	39
2.7.1.2	Bancas de concreto.....	41
2.7.1.3	Poste de concreto para cesto de basura.....	42
CAPITULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS		44
3.1	Obtención de muestras.....	44
3.2	Procesos utilizados para el tratamiento de RCD.....	44
3.2.1	Limpieza y cuarteo de muestras.....	45
3.3	Pruebas de laboratorio a muestras.....	46
CAPITULO 4. PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADAS PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA.....		48
4.1	Agregado Natural.....	48
4.1.1	Arena: determinación de densidad relativa.....	48
4.1.2	Arena: porcentaje de absorcion.....	50
4.1.3	Arena: peso volumétrico seco (suelto y compactado).....	51
4.1.4	Grava: determinación de densidad relativa y absorción.....	52
4.1.5	Grava: peso volumétrico seco.....	54
4.1.6	Análisis granulométrico de finos.....	55
4.1.7	Determinación del modulo de finura.....	56
4.1.8	Análisis granulométrico de gruesos.....	56
4.1.9	Determinación del tamaño máximo absoluto y tamaño máximo nominal del agregado.....	58
4.2	Material proveniente de concretos reciclados.....	58
4.2.1	Reducción de muestras.....	60

4.2.2	Determinación del contenido de humedad.....	60
4.2.3	Análisis granulométrico de finos	61
4.2.4	Determinación del módulo de finura.....	63
4.2.5	Análisis granulométrico de gruesos.	63
4.2.6	Determinación del tamaño máximo absoluto y tamaño máximo nominal del agregado.....	65
4.2.7	Arena: determinación de densidad relativa.	65
4.2.8	Arena: porcentaje de absorción.....	67
4.2.9	Arena: peso volumétrico seco (suelto y compactado).....	68
4.2.10	Grava: determinación de densidad relativa y absorción.....	69
4.2.11	Grava: peso volumétrico seco.	71
4.3	Material proveniente de concreto triturado in situ.	72
4.3.1	Reducción de muestras.....	74
4.3.2	Determinación del contenido de humedad.....	76
4.3.3	Análisis granulométrico de finos.	77
4.3.4	Determinación del módulo de finura.....	80
4.3.5	Análisis granulométrico de gruesos.	80
4.3.6	Determinación del tamaño máximo absoluto y tamaño máximo nominal del agregado.....	83
4.4	Material proveniente del bordo poniente	83
4.4.1	Reducción de muestras.....	85
4.4.2	Determinación del contenido de humedad.....	86
4.4.3	Análisis granulométrico de finos.	87
4.4.4	Determinación del módulo de finura.....	88
4.4.5	Análisis granulométrico de gruesos.	88
4.4.6	Determinación del tamaño máximo absoluto y tamaño máximo nominal del agregado.....	91
4.5	Diseño de mezclas para diferentes proporciones de RCD según el ACI	91
4.5.1	100% Agregados Reciclados.....	91
4.5.2	50% Agregado reciclado y 50% Agregado natural.....	96
4.5.3	30% Agregado reciclado y 70% Agregado natural.....	99
4.6	Prueba de revenimiento.....	100
4.6.1	100% Agregados reciclados provenientes de Concretos Reciclados.	104

4.6.2	50% Agregados reciclados provenientes de Concretos Reciclados y 50% Agregados naturales.....	105
4.6.3	30% Agregados reciclados provenientes de Concretos Reciclados y 70% Agregados naturales.....	107
4.7	Preparación de los cilindros de concreto.....	108
4.8	Curado de los cilindros de concreto.....	110
4.9	Cabeceo de los cilindros de concreto.....	112
4.10	Pruebas de resistencia a la compresión de los cilindros de concreto.....	112
4.11	CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN.....	117
APÉNDICES.....		118
A.	Listado de tablas.....	118
B.	Índice de figuras e imágenes.....	121
C.	Índice de términos.....	124
LITERATURA CITADA.....		126

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, a nivel internacional es de suma importancia el cuidado de los recursos naturales no renovables; por lo cual con mayor frecuencia se escucha hablar de conceptos relacionados con el cuidado de éstos, tales como: sostenibilidad, reciclaje, reutilización, entre otros. Todos los anteriores persiguen el mismo propósito de disminuir los impactos ambientales con el uso de productos que sean amigables con el medio, utilizando fuentes alternas de energía o bien evitando la explotación masiva de recursos naturales.

La generación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) está ligada principalmente a la actividad del sector de la construcción, como consecuencia de la demolición de edificaciones e infraestructuras que han quedado obsoletas, así como de la construcción de otras nuevas. (Romero, 2006). Según el Real Decreto Español 105/2008, del 1 de febrero de 2008, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición, se define a los RCD como cualquier residuo que se genere en una obra de construcción y demolición.

Los RCD son, por tanto, residuos de naturaleza fundamentalmente inerte generados en obras de excavación, nueva construcción, reparación, remodelación, rehabilitación y demolición, incluidos los de obra menor y reparación domiciliaria.

La industria de la construcción es una de las más activas a nivel mundial, y las actividades relacionadas con ésta son de las que más contribuyen al deterioro ambiental, ya que traen consigo consecuencias en muchos casos irreversibles, que perjudican la salud humana y producen un fuerte impacto al ambiente. De éste hecho surge la necesidad de poner en práctica actividades que ayuden a la conservación de los recursos naturales y la disminución de los daños causados al medio. Para darnos una idea de la generación de residuos que provoca esta industria, se muestra a continuación (Tabla 1), una clasificación por las actividades de demolición y construcción, de sus principales componentes.

Tabla 1. Componentes existentes en cada tipo de actividad constructiva (Romero, 2006).

Actividad	Tipo de obra	Componentes
Demolición	viviendas	Mampostería, ladrillos, madera, yeso, tejas, etc.
	edificios	Concreto, acero, hierro, metales, plástico, ladrillos.
	obras publicas	Concreto, acero, ladrillos, mampostería, etc.
Construcción	excavación	Tierra, arcillas.
	edificación	Acero, ladrillos, block, tejas, hierro, plástico.
	reconstrucción	Cal, yeso, asfalto, ladrillos, rocas, concreto, pavimento.
	Otros	Madera, plástico, cerámicos.

Los grandes consumidores de agregados naturales en el sector de la construcción, tales como los países de la unión europea, han mostrado interés en el tema desde hace más de 30 años y los Estados Unidos de América de forma más reciente, ya que la principal preocupación por la explotación de los recursos naturales cada vez toma mayor solidez debido a que a nivel mundial las reservas son cada día más limitadas.

La práctica de reciclar data desde los siglos VIII y VII A.C., sin pensar en economía sustentable y mucho menos en los problemas del medio ambiente, su impacto ecológico y el posible desperdicio de energía no renovable. Todas estas clasificaciones elaboradas por las necesidades de la sociedad actual, se plantean por la incapacidad para resolver sus propios problemas ante la irreversible destrucción de su ecosistema.

En la actualidad, ya existen tendencias de construcción y empresas socialmente responsables principalmente en países europeos como Alemania, Holanda y España, donde en éste último existe la Federación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición (FERCD que se constituye en el 2014, con el apoyo de las asociaciones de gestores de RCD de ámbito nacional y autonómico, que van de la mano con el reciclaje y recuperación de los Residuos de Construcción y Demolición, procurando reducir el impacto ambiental causado por las actividades relacionadas con la explotación y el manejo de los recursos antes y después de su vida útil.

La factibilidad de implementar una empresa de base tecnológica (EBT), para poder reducir los impactos ambientales generados por los residuos de construcción y demolición, es un tema el cuál se caracteriza por poseer una plataforma de conocimiento enfocado en buscar comercializar los resultados de sus actividades de investigación científica y tecnológica.

CAPITULO 1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

El problema de la generación de los residuos ha acompañado al hombre a lo largo de la historia. Estos residuos siempre se han gestionado de algún modo, siendo el depósito y el abandono la forma más común utilizada para su destino final, incluso en la actualidad. El acopio y vertido de residuos, no es más que una forma, ya sea ordenada o no, de abandono de los residuos que no se pueden aprovechar de ninguna otra manera, o bien, que ya cumplieron su vida útil.

Los primeros datos documentados del uso de materiales procedentes de demoliciones se localizan durante y después de la Segunda Guerra Mundial, principalmente en Gran Bretaña y Alemania. En los años posteriores a la guerra, hubo dos factores que dispararon la cantidad de RCD. En primer lugar, la destrucción producida por los bombardeos había creado montañas de escombros en los corazones de grandes ciudades europeas. En segundo lugar, durante el movimiento bélico se habían desarrollado motores con potencias inimaginables unos años antes, lo que había propiciado la aparición de maquinaria pesada moderna. La capacidad para mover grandes volúmenes de materiales con poco esfuerzo y la necesidad de hacerlo, dieron lugar a la aparición de los vertederos de escombros tal y como se conocen ahora. Parte de esos residuos se reutilizaron y reciclaron, pero el volumen total era demasiado grande para poder abarcarlo.

No fue hasta los años 80's que renace el interés en vista del gran número de edificios demolidos. En 1978 P. J. Nixon crea el primer documento donde se resume el estado del conocimiento sobre el reciclaje de concretos, en el cual expone que varios investigadores han examinado las propiedades básicas del concreto en las que el agregado es producto de la trituración de otro concreto, llegando a la conclusión de que existe una buena concordancia en la mayor parte de los aspectos de comportamiento de éstos concretos reciclados y los correspondientes de control convencionales (Nixon, 1978).

En 1986 y 1992 Hansen edita el segundo y tercer estado del conocimiento de concretos reciclados. En ambos documentos se encontraron investigaciones donde ya trabajaban con un porcentaje de agregados reciclados (pavimentos, dragados, bases y sub-bases para carreteras). Aunque ya se encontraban algunos autores estudiando el comportamiento estructural de los agregados reciclados (Muka, 1988, Ravi, 1988).

Uno de los casos más conocidos fue la acción emprendida para poder gestionar los residuos originados por la demolición del muro de Berlín y utilizarlos en nuevas construcciones del tipo residencial. Otro de los ejemplos significativos se realizó en

Barcelona, una de las ciudades pioneras de España en el aprovechamiento de residuos de construcción, cuando para la remodelación y construcción de las nuevas instalaciones de la villa olímpica en el año de 1992, se utilizaron los sólidos provenientes de demolición. Con este mismo lineamiento, Dinamarca realizó un interesante e ilustrativo proyecto piloto de reciclaje de escombros y confección de un nuevo concreto en 1998, cuando aprovechó el material resultante de la demolición de dos puentes. Aproximadamente 1400 toneladas fueron empleadas en un nuevo concreto para los cimientos y baldosas del suelo de nuevos edificios, lo que significó un ahorro de 15 dólares por tonelada con respecto a la demolición y depósito del material siguiendo los métodos tradicionales.

Esto nos muestra que las posibilidades de uso y marketing de los productos de concreto reciclado son factibles y que los costos pueden considerarse competitivos.

Hoy en día, la exigencia de una mejora en la protección del ambiente, la preservación de la naturaleza y del paisaje motiva que, dentro del ámbito de la construcción, se controlen estos residuos por medio de una gestión adecuada y, si es posible, minimizar las cantidades de los residuos desechados y hacer que puedan ser reciclados y en el mejor de los casos reutilizados. Una de las líneas de investigación propuesta en este sentido es el reciclaje y la valorización de los residuos de construcción y demolición y su reúso posterior en obras públicas o privadas.

1.2 Problemática

En la industria de la construcción se generan desechos sólidos, originados por los procesos constructivos, los cuáles alcanzan volúmenes significativos y como consecuencia se obtiene el daño al paisaje. El impacto en el aspecto económico también es considerable ya que diversos estudios alrededor del mundo han demostrado que estos desechos generan un 40% de los totales producidos por el hombre como se indica en la Organización de las Naciones Unidas (ONU), por medio de su documento denominado “Agenda 21”, que es una lista de asuntos que requieren atención debido a su impacto ecológico y que desea promover el desarrollo sustentable.

El 60% de los residuos de construcción y demolición de las obras (RCD), proviene de obras de demolición y mantenimiento de infraestructuras públicas. Mientras que el 40% restante corresponde a residuos mixtos de nueva edificación, reformas y reparaciones (CIB, 2000).

La gestión de los RCD es realmente desordenada en la mayoría de los países, entre ellos, México, siendo un hábito común la disposición incontrolada en lugares inapropiados cerca del sitio de generación, o en el mejor de los casos en vertederos municipales sin control.

La industria de la construcción es la principal extractora de materiales, por ejemplo en Europa, se presentan los siguientes registros: en Londres se produce anualmente más de 14 millones de toneladas de desperdicios (Kingston university, 2003). En el caso de Alemania se generan 44 millones de toneladas de este tipo de residuos al año (Bossink y Brouwers, 1996). En América, dentro de Estados Unidos se estima 140 millones de toneladas anuales de los residuos de construcción y demolición (Kibert, 2000), el Servicio de Salud.

Metropolitano del Ambiente de Chile (SESMA) estima que se generan 3.5 millones de toneladas al año de estos desechos (SESMA, 2001).

La falta de control en la gestión ha ocasionado la proliferación de micro-vertederos, produciendo impactos negativos sobre el ambiente, tales como:

- El deterioro del paisaje
- La contaminación del suelo y el agua
- La disposición al borde de las vías públicas
- La mezcla con otros residuos, tales como urbanos y peligrosos
- La ocupación con residuos inertes de vertederos controlados con altos costos de gestión
- La sepultación de suelos aptos para otros usos.

Por otra parte, durante las actividades de creación de nuevos agregados, el mayor impacto negativo se da en la propia extracción del material de los bancos naturales. En la misma fase extractiva se producen algunos residuos similares a los originados en la obra, pero en la valorización de los RCD, el impacto resulta pequeño si se compara con el proceso de extracción.

Los principales impactos negativos debidos a los RCD en el medio biótico (Santos et al, 2011) son:

- La pérdida de hábitat por la extracción de materias primas.
- La pérdida de hábitat por la ocupación de suelos para el vertido.
- La pérdida de calidad edáfica en los suelos en los que se han acopiado residuos, aunque se retiren posteriormente.

Los principales impactos negativos debidos a los RCD en el medio humano (Santos et al, 2011) son:

- El ruido y las vibraciones por el tráfico de vehículos pesados, tanto en la extracción como en el vertido.
- La degradación paisajística en entornos eminentemente naturales por el vertido y la extracción.

- La degradación paisajística en entornos eminentemente urbanos por la acumulación de residuos en solares, descampados y márgenes de calles y caminos.
- La ocupación de suelos en entornos urbanos que podrían destinarse a otros usos.
- La falta de EBT en México, ya que no son aún un segmento importante dentro del universo de las pequeñas y medianas empresas (PYMEs) por los problemas que enfrenta el país para el desarrollo de negocios basados en un perfil más tecnológico.

1.3 Justificación

Para poder dar una valorización a los Residuos de Construcción y Demolición, es necesaria la implementación de una Empresa de Base Tecnológica que gestione los RCD, utilizando el uso intensivo del conocimiento tecnológico como factor clave para minimizar el impacto ambiental que generan dichos residuos. En los últimos años las EBT se han convertido en un ejemplo de colaboración exitosa entre la industria y la academia (Díaz et al., 2010). Es un proceso que genera, recoge, asimila y aprovecha el conocimiento con el fin de crear una empresa más inteligente y competitiva, aportando beneficios en el ámbito económico, social y ambiental.

Beneficios Económicos

- Reducción de los costos de extracción y transporte de materia prima.

Beneficios Sociales

- Reducción de vertederos clandestinos de RCD.
- Mejoramiento de la imagen urbana.

Beneficios Ambientales

- Utilización de los residuos como materia prima, para la generación de nuevos materiales constructivos.
- Mejora de la calidad del aire y del agua, debido al control que se ejerce sobre vertimientos y emisiones.
- Reducción de los residuos sólidos.
- Preservación y conservación de los recursos naturales.

Todo lo anterior disminuiría de manera significativa, por el hecho de utilizar RCD para la fabricación de nuevos elementos constructivos en vez de generar nuevos materiales partiendo de agregados naturales. Cuando se habla de las importantes ventajas de la reutilización y el reciclaje de escombros para confeccionar nuevos concretos, es indudable que el beneficio ambiental para los ecosistemas urbanos es evidente y

cuantificable, basta con mencionar que si se reciclara cuando menos el 30 % de los escombros producidos en México diariamente (30,000 ton al día. 6,500 ton al día en DF), se estaría hablando de unas 9,000 toneladas que no llegarían a puntos negros ni a rellenos sanitarios y que además no se estarían extrayendo nuevos materiales pétreos. Pero, de acuerdo a las dinámicas de una sociedad en la cual hasta ahora el factor económico predomina por encima del factor ambiental, se hace necesaria la comprobación científica acerca del desempeño de un material que utilizará RCD como agregados.

Tal comprobación se basa fundamentalmente en los siguientes aspectos:

- Disponibilidad en el medio de materias primas que puedan ser recicladas y/o reutilizadas en las cantidades que la actividad edilicia de una conurbación requiere:
- Resistencia del concreto confeccionado con escombros al esfuerzo de la compresión a los 28 días de edad.
- Y factibilidad de uso en prefabricados de frecuente utilización en la construcción.

Para tal efecto se mostrarán los análisis acerca del comportamiento físico y mecánico de un concreto cuyos agregados naturales, han sido reemplazados en un 100% por agregados provenientes del reciclaje de RCD, así como su viabilidad económica.

El reciclaje de los RCD, es un sector económicamente rentable y muy organizado en algunos países europeos como Alemania y Holanda, donde unas legislaciones más restrictivas, la escasez de recursos naturales y, sobre todo, el gran valor económico que se da al suelo, ha obligado a fomentar el reciclaje desde hace muchos años con resultados muy positivos. Todos estos hechos convergen en la necesidad de investigar acerca de las características de estos residuos sólidos inertes, con el fin de conocer su capacidad para ser aprovechados en la industria de la construcción.

En teoría, una gran cantidad de los residuos de construcción y demolición pueden reciclarse o reutilizarse fácilmente, especialmente cuando el contenido de concreto y ladrillo mezclado con mortero, es elevado. Debemos tener en cuenta que los escombros tienen un potencial considerable para el reciclaje, si lo comparamos con otros tipos de residuos. Por otro lado, los productos reciclados tienen que competir con los materiales de construcción tradicionales, de ahí la necesidad de una calidad uniforme. En este sentido, es importante conocer cuál es el origen y la composición de estos residuos para conseguir una aceptabilidad futura del material reciclado. En cuanto al origen de los residuos de construcción y demolición, se puede decir que éstos son variados.

En la mayoría de los países europeos estos residuos son depositados en un vertedero, ya sea controlado o incontrolado. Sin embargo, en Holanda más de la mitad de los escombros que se generan son reciclados. En la actualidad, la tecnología de reciclaje cuenta con una aceptación importante de la sociedad. En países como Holanda, Dinamarca y Alemania, campañas significativas basadas en información y actuaciones diversas han influido en un cambio de mentalidad desde hace ya bastantes años.

Las organizaciones mundiales que se preocupan del medio ambiente, trabajan por dar una solución al impacto ambiental que producen tanto la explotación de estos recursos no renovables, como para los vertederos de escombros de las demoliciones y residuos de construcción, ya sean legales o clandestinos, porque las áreas destinadas para estas actividades quedan despojadas de la capa vegetal.

1.4 Hipótesis

La implementación de una Empresa de Base Tecnológica (EBT) en México, es factible para la realización de elementos urbanos elaborados con base en residuos de construcción y demolición (RCD).

1.5 Objetivo general

Fundamentar la implementación de una Empresa de Base Tecnológica para la elaboración de mobiliario urbano a partir de concreto reciclado, analizando el material triturado, producto de los residuos de construcción y demolición (RCD) con el fin de obtener sus características físicas y mecánicas como agregados, para la elaboración y caracterización de concreto apropiado para elementos urbanos tales como bolardos, bancas y postes para cestos de basura.

1.6 Objetivos específicos

1. Realizar el análisis granulométricos de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), para determinar sus propiedades mecánicas como agregados en la elaboración de concreto reciclado.
2. Implementar la producción de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y demolición, por medio de una empresa de base tecnológica.
3. Determinar porcentajes óptimos de agregado reciclado en la elaboración de concreto reciclado en comparación con el concreto convencional, para alcanzar una resistencia de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.
4. Elaboración de elementos de concreto como bolardos, bancas y postes para cestas de basura.

1.7 Metas

Conocer las propiedades mecánicas del agregado reciclado, para la elaboración de elementos de concreto como bordillos, bolardos, bancas y macetas; como trabaja el agregado reciclado en diferentes proporciones con el agregado natural.

Identificar qué tan factible resulta la implementación de una empresa de base tecnológica dedicada a producir elementos urbanos con agregados reciclados.

CAPITULO 2. MARCO TEORICO

2.1 Actualidad del reciclado de materiales de construcción en México

Desafortunadamente tanto en México como en toda América Latina, la experiencia en el arte del reciclaje de los RCD es prácticamente nula.

Algunas entidades federativas en nuestro país han implementado padrones de prestadores de servicios, que incluyen la recolección y el transporte de residuos y en algunos casos, centros de acopio, transferencia e incluso sitios de disposición final para el manejo de los RCD.

No obstante, la gestión en materia de RCD presenta serias deficiencias, pues son pocas las entidades que cuentan con infraestructura para proporcionar un manejo adecuado de los RCD que se generan en cada entidad, por citar alguna, la generación de residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal, es de 11,722 toneladas por día, de las cuales 7,000 toneladas provienen de la generación de RCD.

Si bien la mayor parte de los RCD generados en las obras pequeñas son retirados por vehículos recolectores de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), y se estima que cerca del 10 % de los residuos son dispuestos en suelos de conservación o en la vía pública. Para en caso de las obras publicas y privadas, se estima que el 67% de sus residuos son transportados por vehículos de carga privados, sin embargo, tan solo el 20% se dispone en sitios autorizados y un 3% se recicla, disponiendo el resto para la estabilización y nivelación de terrenos, rellenos sanitarios y de manera inapropiada en suelos de conservación o la vía pública. (PM-RCD-CMIC, 2013).

Dentro de América Latina, Brasil es el primer país en el cual fue instalada una planta dedicada al reciclaje de residuos de construcción, emitida por el Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) en 2002; en este mismo país, específicamente en municipios como Salvador, Belo Horizonte, Sao Paulo, entre otros, se han implementado acciones para el reciclaje de RCD, dentro de una legislación municipal adecuada, ya que poseen instalaciones exclusivas para realizar el reciclaje de desechos de construcción (Carneiro, 2004).

Por otro lado, en México, a partir del año 2004, se pone en operación la primera planta de este tipo y hasta el momento la única dedicada a este tipo de actividades en el país y se encuentra ubicada en el Distrito Federal (Concretos Reciclados, 2006).

2.1.1 Concretos Reciclados S.A de C.V.

Concretos Reciclados S.A de C.V. nace a partir de la actividad desarrollada por Mina “La Esperanza” desde hace más de 35 años. Esta mina, dedicada a la explotación, trituración y clasificación de agregados pétreos para la construcción, está ubicada en el Cerro Yehualique, Delegación Iztapalapa, México, D.F.

Esta empresa cuenta con una amplia experiencia en el ramo y muestra interés por el aprovechamiento de los RCD y por la conservación ambiental. Es la primera organización 100% mexicana dedicada al reciclaje de estos materiales, los cuales contaminan el entorno al ser depositados en lugares no aptos para ello.



Imagen 1. Planta de Concretos Reciclados. (Disponible en: <http://concretosreciclados.com.mx/es/proceso.php>Planta de Concretos Reciclados.

Siguiendo la tendencia marcada por los países de la Comunidad Europea, la empresa utiliza tecnología de punta para el desarrollo de sus actividades de trituración y clasificación con el uso de máquinas computarizadas y robotizadas, equipadas con motores ecológicos, para reciclar los materiales pétreos; siendo capaz de recibir hasta 4,000 toneladas de RCD al día, ya que cuenta con una superficie aproximada de 8 hectáreas, aprovechando una depresión natural del terreno con el fin de ser aprovechada como medida de mitigación ambiental contra el polvo y ruido, además de otra depresión similar que sirve como área de amortiguamiento del impacto al ambiente.

Por otra parte, lejos de los alcances y el giro de la empresa concretos reciclados, se encuentra el tiradero Bordo poniente.

2.1.2 Bordo Poniente

El Bordo Poniente (Imagen 2) era hasta el 2012, el principal tiradero de basura de la ciudad, uno de los más grandes del mundo y con graves problemas de contaminación y de afectación a la salud de los capitalinos. Desde 1985, como consecuencia del terremoto, se autorizó el depósito de escombros en este sitio y más tarde, ante la saturación del basurero de Santa Catarina, decidieron aprovechar como basurero esta misma área que corresponde a la Zona Federal del Lago de Texcoco (ZFLT). Los basureros se hicieron a cielo abierto sin ninguna protección al suelo ni a los canales de desagüe que confluyen en ese sitio; tampoco se cumplió lo relativo a la captación del biogás.

El tiradero creció sin control y fue hasta el año 2003 cuando la PROFEPA estableció un procedimiento debido a violaciones a la legislación ambiental, mala operación del relleno y un alto riesgo de contaminación del acuífero. En 2004 la SEMARNAT ordenó el cierre definitivo del Bordo Poniente, dando un plazo irrevocable de 4 años. La historia del Bordo Poniente fue siempre de desencuentros por los incumplimientos por parte del GDF prácticamente de todos los convenios firmados. En 2009 solicitó una ampliación del plazo que también violó y finalmente en noviembre del 2010 el jefe de Gobierno firmó con Conagua el convenio para el cierre definitivo (Luege, 2014).



Imagen 2. Bordo poniente. (Disponible en: <http://www.agu.df.gob.mx/sintesis/index.php/biogas-del-bordo-poniente/>).

El bordo poniente, en una escala mucho menor, realiza trabajos de trituración de RCD, pero por lo contaminado del lugar y la gran variedad de desechos, la calidad de los agregados reciclados provenientes de este lugar, es muy baja y no cumple con lo mínimo requerido, a simple vista, se puede identificar que el agregado fino es, en su gran mayoría, material arcilloso.

2.2 Marco jurídico y normativo relacionado con el manejo y gestión de los RCD y Agregados reciclados.

2.2.1 Legislación y Normativa Internacional

El Ministerio de Medio Ambiente publicó en el año 2001 un Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (PNRCD). El periodo de ampliación del plan es de 5 años, y como previsión en la gestión de los residuos, estima una disminución de un 10% en la generación de RCD y un nivel de reciclado de un 25% en el año 2006. Estas previsiones situarían a España en los valores medios Europeos según la tabla 2.

Tabla 2. Tasas de reciclado de distintos países europeos (ACHE, 2006)

RECICLAJE DE ESCOMBROS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN				
PAÍS	PRODUCCIÓN ANUAL (kt)	PORCENTAJE UTILIZADO	DESTINO DEL PORCENTAJE UTILIZADO	
Bélgica	7,000 (1990)	87%	Agregado para concreto: 17%	Carreteras: 70%
Francia	24,000 (1990)	0.15	Agregado para concreto: 1.5%	Carreteras: 8.2% Terraplenes y rellenos: 5.3%
Gran Bretaña	30,000 (1999)	0.45	Agregado para concreto: 2%	Carreteras: 9% Terraplenes y rellenos: 34%
Unión Europea	180,000 (1999)	0.28	Agregado para concreto: 2.2%	Carreteras: 9.5% Terraplenes y rellenos: 16.3%
España	38,500 (2003)	0.1	Bases y sub-bases de carreteras: 3%	Explanadas: 3.5% Rellenos: 3.5%

2.2.1.1 Granulometría.

El porcentaje de agregado grueso que se obtiene suele variar entre 70% y 90% (EDA, 1992) del árido total producido. Este porcentaje depende además del tamaño máximo del agregado grueso reciclado producido y la composición del concreto original. La fracción gruesa posee una curva granulométrica adecuada, que se puede englobar dentro de los husos que recomiendan algunas normas internacionales para el empleo de agregado grueso en concreto estructural (ASTM, prEN).

Según las recomendaciones japonesas para la utilización de agregado reciclado (Kasai, 1994), la granulometría del agregado deberá ajustarse a los valores que aparecen en las siguientes tablas, diferenciando las especificaciones establecidas para concreto de edificación (Tabla 3) y concreto para obra pública (Tabla 4).

Tabla 3 . Requisitos de granulometría del agregado reciclado para la fabricación de concreto para edificación según norma japonesa. (Kasai, 1994)

Tamaño máximo	Porcentaje en peso que pasa (%)					
	30	25	20	10	5	2.5
25	100	90-100	50-90	10-60	0-15	0-5
20	-	100	90-100	10-60	0-15	-

Tabla 4. Requisitos de granulometría del agregado reciclado para la fabricación de concreto para obra pública según norma japonesa. (Kasai, 1994)

Tamaño máximo	Porcentaje en peso que pasa (%)								
	50	40	30	25	20	15	10	5	2.5
40	100	95-100	-	-	35-70	-	10-30	0-5	-
25	-	-	100	95-100	-	30-70	-	0-10	0-5
20	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5

Las normas Belgas (Vincke y Rousseau, 1994) establecen también los siguientes husos granulométricos para el agregado reciclado (Tabla 5).

Tabla 5. Husos granulométricos para el agregado reciclado según norma belga. (Vincke y Rousseau, 1994)

Tamaño máximo	Porcentaje en peso que pasa (%)											
	Tamiz	63	31.5	22.4	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125
0-4	-	-	-	-	100	90-98	-	50-85	-	0-20	-	-
4-8	-	-	-	100	90-100	0-20	0-2	-	-	-	-	-
4-16	-	-	100	95-100	30-65	0-15	0-5	0-4	-	-	-	-
4-32	100	98-100	70-95	45-75	15-40	0-10	-	0-4	-	-	-	-
8-16	-	-	100	90-100	0-20	0-2	-	-	-	-	-	-
16-32	100	90-100	-	0-20	0-2	-	-	-	-	-	-	-

2.2.1.2 Porcentaje de finos.

El agregado reciclado genera finos debido a la aparición de pequeñas partículas de mortero durante su manipulación. Según algunos ensayos españoles (Sánchez, 2005), la generación de finos sobre fracciones gruesas ya clasificadas en el laboratorio pueden variar entre 0.27% y 1.14% situándose en la mayoría de los casos por debajo del límite del 1% establecido por la EHE. La presencia de finos en los agregados reciclados puede originar problemas de adherencia con la pasta de cemento, además de provocar un aumento en la cantidad de agua utilizada en la revoltura.

Las recomendaciones o normas que incluyen especificaciones sobre esta propiedad (Norma belga (Vincke y Rousseau, 1994), inglesa (BS 8500-2:2002), Rilem (RILEM, 1994), norma alemana y recomendaciones de Hong Kong (Hong Kong, 2002)) establecen un límite más alto de finos para el agregado reciclado, admitiendo entre un 2% y un 5% según se observa en la tabla 6.

2.2.1.3 Contenido de partículas de tamaño inferior a 4 mm.

El agregado reciclado presenta pequeños porcentajes de arena compuesta por partículas menores de 4 mm., debido a la disgregación que sufre el agregado al manipularse. Los valores más frecuentes oscilan entre 0.5-2% (Sánchez, 2005).

Las recomendaciones de la Rilem y las especificaciones de Hong Kong, establecen un límite del 5% para el contenido de partículas de tamaño inferior a 4 mm. (Tabla 6).

Tabla 6. Especificaciones Internacionales para los distintos tipos de agregados reciclados (ACHE, 2006)

Requisitos	RILEM			Japón			Bélgica		Hong Kong	Alemania				Reino Unido (BS EN 206-1)		Australia
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	GBSB I	GBSB II		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	RCA	RA	
Densidad seca (kg/m ³)	≥1,500	≥2,000	≥2,400	≥2,200			≥1,600	≥2,100	≥2,000	≥2,000		≥1,800	≥1,500		>2,100	
	ISO 6783 y 7033			JIS A1110			NBN B11-255		BS 812.2		DIN EN 1096-6				AS 1141.6	
Absorción (%)	≤20	≤10	≤3	≤3	≤5	≤7	≤18	≤9	≤10	≤10 ^(I)	≤15 ^(I)	≤20 ^(I)	-		≤6	
	ISO 6783 y 7033			JIS A1110			NBN B11-255		BS 812.2		DIN EN 1096-6				AS 1141.6	
Material de densidad <2,200 kg/m ³ (%)	-	≤10 ^(II)	≤10 ^(II)				-	≤10 ^(III)								
	ASTM C123															
Material de densidad <1,800 kg/m ³ (%)	≤10 ^(II)	≤1 ^(II)	≤1 ^(II)				≤10	≤1 ^(IV)								
	ASTM C123															
Material de densidad <1,000 kg/m ³ (%)	≤1 ^(II)	≤0.5 ^(II)	≤0.5 ^(II)				≤1	≤0.5	≤0.5			≤0.5		≤1		
	ASTM C123								BRE Digest 433							
Contenido de metales, vidrios, materiales blandos, betún (%)	≤5	≤1	≤1	^(V) ≤10 kg/m ³			≤1		≤1			≤1		≤1	≤2 (incluido ladrillo)	
	Visual			^(V) ≤2 kg/m ³			Visual		BRE Digest 433		Requisitos según tabla 14.					
Índice de lajas (%)									≤40							
									BS 812							
Índice de machacabilidad															<30	
															AS 1141.21	
Índice del 10% de finos									100 kN							
									BS 812.							
									Parte 111							

NOTA: Las casillas sombreadas corresponden a aquellos tipos de agregados procedentes mayoritariamente de concreto.

Tabla 7. Especificaciones Internacionales para los distintos tipos de agregados reciclados (ACHE, 2006)

Requisitos	RILEM			Japón			Bélgica		Hong Kong	Alemania				Reino Unido (BS EN 206-1)		Australia
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	GBSB I	GBSB II		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	RCA	RA	
Contenido de metales (%)	≤1	≤1	≤1						≥2,000							
		Visual							BS 812.2							
Contenido de materia orgánica (%)	≤1	≤0.5	≤0.5				≤0.5		≤10							
		NEN 5933					NBN B11-207		BS 812.2							
Contenido de finos (<0.063 mm) (%)	≤3	≤2	≤2				≤5 ^(VI)	≤3 ^(VI)	≤4 ^(VII)		<4		<5	<3		
		prEN 933-1					NBN B11-209		prEN 933-1		DIN 4226-1					
Pérdida por lavado (%)					≤1										<1 %	
Resistencia a la helada (%)				≤12	≤40	-	≤12 ^(X)									
Contenido de arena (<4 mm) (%)		≤5 ^(VIII)							<5							
		prEN 933-1							prEN 933-1							
Contenido de sulfatos (SO ₃) (%)		≤1 ^(IX)					<1		<1				≤1	≤1		
		BS 812 Parte 118					NBN B11-254		BS 812 Parte 118					-		
Contenido de cloruros (%)							<0.06		<0.05		<0.04	<0.15				
							NBN B11-202		BS 882		DIN 4226-1					

^(I)Absorción a los 10 minutos.

^(II)Determinada en condiciones de agregado saturado con la superficie seca.

^(III)Según la norma belga la densidad considerada es 2,100 kg/m³.

^(IV)Según la norma belga la densidad considerada es 1,600 kg/m³.

^(V)Según criterios tomados en la tabla 14.

^(VI)Finos menores de 0.08 mm.

^(VII)Finos menores de 0.075 mm.

^(VIII)Si el contenido de arena es superior al límite, la arena que incorpora el agregado reciclado se considerará con la fracción total de la arena

^(IX)Sulfatos solubles en agua

^(X)Especificación cuando se requiera resistencia a la helada con agregados de absorción ≤3% para obra civil.

2.2.1.4 Densidad y absorción

La densidad del agregado reciclado es menor que la del agregado natural, debido a la pasta de cemento que se queda adherida a los granos. La densidad del agregado reciclado (RILEM, 1992) oscila entre 2,100 y 2,400 kg/m³, mientras que la densidad saturada a superficie seca varía entre 2,300 y 2,500 kg/m³, por lo que se consideran agregados con densidad normal ya que superan los 2,000 kg/m³, según establece la norma UNE 146.120:97.

En cuanto la absorción es la propiedad que presenta una mayor diferencia con respecto al agregado natural, debido a la elevada absorción de la pasta que queda adherida a él. Los valores oscilan entre 4-10% (Kobayashi y Kawano, 1988), incumpliendo en la mayoría de los casos el límite del 5% que establece la EHE.

El agregado reciclado se clasifica en 3 tipos, donde el agregado tipo 1 es el de mayor calidad y se puede emplear en armado con fines estructurales, mientras que el agregado tipo 2 es adecuado para losas y el tipo 3 para concretos pobres. Otra clasificación dependiendo la composición del agregado reciclado se puede notar en la tabla 8 (Rilem, 1994).

Tabla 8. Clasificación y especificaciones del concreto reciclado. (Rilem, 1994)

TIPO	ORIGEN
TIPO I	Agregados procedentes en su mayoría de escombros de fábrica de ladrillo.
TIPO II	Agregados procedentes en su mayoría de escombros de concreto (cerámicos < 10%).
TIPO III	Agregados compuestos por una mezcla de agregados naturales superior al 80% y agregados TIPO I inferior al 10% (o hasta 20% de agregado TIPO II).

La norma alemana establece 4 categorías de agregado reciclado en función de su composición (Tabla 9). Para los agregados de concreto tipo I y II la máxima absorción permitida es de 10% y 15% después de 10 minutos respectivamente.

Tabla 9. Clasificación del concreto reciclado según norma (DIN 4223).

TIPO	ORIGEN
TIPO I	Agregados procedentes en su mayoría de escombros de concreto o agregados minerales ($\geq 90\%$), y con un contenido máximo de clinker, ladrillo y arenisca calcárea del 10%.
TIPO II	Agregados procedentes en su mayoría de escombros de concreto o agregados minerales ($\geq 70\%$), y con un contenido máximo de clinker, ladrillo y arenisca calcárea del 30%.
TIPO III	Agregados procedentes en su mayoría de escombros cerámicos ($\geq 80\%$), con un contenido máximo de concreto o agregados minerales del 20%.
TIPO IV	Agregados procedentes de una mezcla de residuos de construcción y demolición (RDCs) con un contenido mínimo del 80% de material procedentes de concreto, agregados minerales o productos cerámicos.

La norma europea específica que establece la composición de los agregados reciclados, prEN 933-11 “*Test for geometrical properties of aggregates. Part 11: Classification test form the constituents of coarse recycled aggregates.* (Tabla 10).

Tabla 10. Clasificación de los materiales constituyentes del agregado reciclado (prEN 933-11).

DESIGNACIÓN	ORIGEN
A	Asfalto
B	Materiales de construcción
B ₁	Productos cerámicos: ladrillos, tejas, etc.
B ₂	Productos silicocalcáreos
C	Concreto, productos de concreto y mortero
L	Materiales ligeros ($<1,000 \text{ kg/m}^3$)
U	Agregados
X	Otros
X ₁	Tierras, arcillas, etc.
X ₂	Plásticos, maderas, vidrio, metales, goma, etc.
X ₃	Yeso

2.2.2 Legislación y normativa mexicana.

Existen leyes, reglamentos y normas que regulan el marco jurídico y normativo, de los RCD; el esquema del fundamento legal del Plan de Manejo de Residuos de la Construcción y Demolición es el siguiente (Figura 1):

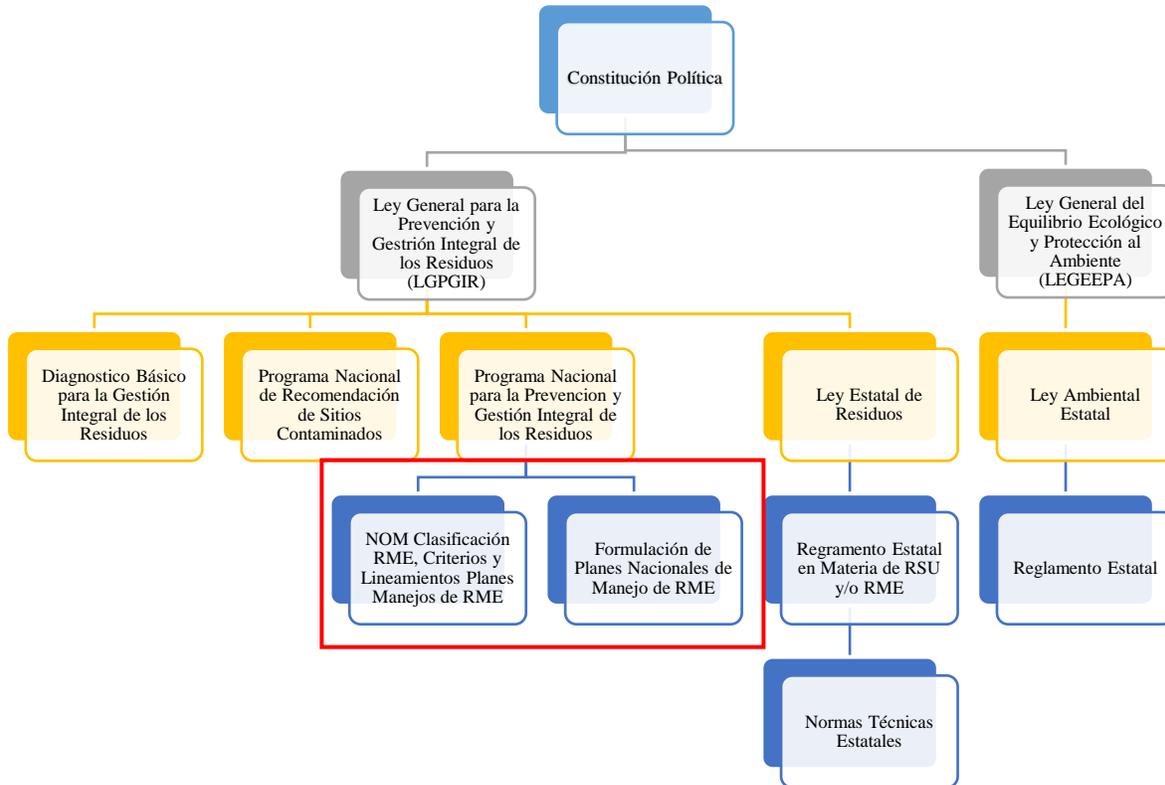


Figura 1. Fundamento legal del PM-RCD (CMIC, 2013).

Derivado del esquema anterior, el PM-RCD, se formula de acuerdo con lo establecido en la NOM-161.SEMARNAT-2011. Sin embargo, dicho diagrama puede ser la base para desarrollar otros planteamientos que se deriven de requisitos legales adicionales a los ya mencionados o bien, a las características propias de cada obra.

En el proceso de generación de los RCD, los constructores son la parte más fácil de identificar, aunque, solo representan un eslabón en la cadena de valor de este sector productivo, dado que de manera natural es a quienes se atribuye la mayor responsabilidad.

Por lo tanto, en el PM-RCD, se han identificado dentro de la cadena productiva a los diferentes sectores de la economía.

- Sector Primario: Extractivo y Materiales de Construcción
- Sector Secundario: Construcción y Servicios Relacionados
- Sector Terciario: Actividades de Soporte

En el sector primario “Extractivo y Materiales de Construcción”, se ubican los actores que se consideran proveedores de insumos, desde materiales pétreos, cemento, madera y accesorios para acabados.

En un nivel intermedio o sector secundario, se pueden identificar tres actores, cuya actividad se encuentra relacionada precisamente con la construcción y servicios relacionados con la misma.

Finalmente, en el sector terciario, los actores cuyas labores son de soporte e incluyen a los comerciantes y proveedores de servicios, incluso técnicos y financieros.

En términos de lo establecido en la NOM-161-SEMARNAT-2011, todos los actores de la cadena de valor, siempre que sean grandes generadores de residuos, están obligados a desarrollar su plan de manejo.

El PM-RCD promovido por la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), propone agrupar a todos los actores de la cadena en un solo plan de manejo, para lograr lo anterior y conforme a lo previsto por la norma, se han establecido mecanismos de adhesión, de tal forma que cualquiera que sea el actor de la cadena, pueda adoptar el PM-RCD de la CMIC de forma accesible.

En México, la normativa que implica el manejo, el reúso y el reciclado de RCD, es la norma ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2013, que establece la Clasificación y Especificaciones de Manejo para Residuos de la Construcción y Demolición, en el Distrito Federal, mientras que la norma NTEA-011-SMA-RS-2008 establece los requisitos para el manejo de los residuos de la construcción para el Estado de México.

2.3 Definición y características técnicas de los RCD.

Se consideran residuos de construcción y demolición (RCD) aquellos que se generan en el entorno urbano y no se encuentran dentro de los comúnmente conocidos como Residuos Sólidos Urbanos (residuos domiciliarios y comerciales, fundamentalmente), ya que su composición es cuantitativa y cualitativamente distinta. Se trata de residuos, básicamente inertes, constituidos por: tierras y áridos mezclados, piedras, restos de concreto, restos de pavimentos asfálticos, materiales refractarios, ladrillos, cristal, plásticos, yesos, maderas y, en general, todos los desechos que se producen por el movimiento de tierras y construcción de edificaciones nuevas y obras de infraestructura, así como los generados por la demolición o reparación de edificaciones antiguas (Master Ingeniería Ambiental, 2006).

El auge experimentado en este sector, ha implicado la generación de importantes cantidades de RCD, los cuáles, debido a la falta de planificación para una adecuada gestión final de los mismos, se han ido depositando en vertederos, en muchas ocasiones, de forma incontrolada. Al realizar estos depósitos de RCD, no sólo se está perdiendo o desaprovechando energía y material potencialmente reutilizable, reciclable o valorizable, sino que además, se afecta de manera muy negativa al entorno.

El sector de la construcción ha implicado la generación de considerables cantidades de RCD, los cuáles, debido a la falta de planificación para una adecuada gestión de los mismos, se han ido depositando en tiraderos clandestinos, de forma excesiva. Al realizar estos depósitos de RCD, se está dañando principalmente al entorno ya que da lugar a la vida de fauna nociva, debido a que muchas veces va acompañada de basura, de esta manera perdemos la oportunidad de darle un uso reciclable. Esta importante afección de los depósitos de RCD se debe a que llegan a verterse sin haber realizado separación de componentes catalogados como residuos peligrosos, y en emplazamientos no acondicionados para inmovilizar la contaminación, por tanto, el impacto no sólo es aire del entorno sino también de contaminación química sobre el suelo, aguas subterráneas, etc., con los efectos contraproducentes que esto pudiera tener para la salud de las personas.

La composición de los RCD, varía en función del tipo de infraestructuras de que se trate y refleja en sus componentes mayoritarios, el tipo y distribución porcentual de las materias primas que utiliza el sector, si bien hay que tener en cuenta que éstas pueden variar de un país a otro en función de la disponibilidad de los mismos y los hábitos constructivos. En la Tabla 11 se indica una posible distribución del porcentaje en volumen de las distintas materias primas utilizadas en la construcción.

Tabla 11. Materias primas utilizadas en la construcción (Romero, 2006).

Materia	% En volumen
Arena	60
Yeso natural	1
Metales	4
Grava	14
Caliza (Producción de cemento)	6
Arcilla	6
Piedra natural	4
Madera	2
Petróleo (plásticos)	3
Total	100

Como se puede observar en la tabla 12, los residuos que llegan a vertedero contienen un 75% de escombros.

Tabla 12. Composición RCD (Romero, 2006).

Material	% En volumen
Ladrillos, azulejos y otros cerámicos.	54
Hormigón.	12
Piedra.	5
Arena, grava y otros áridos.	4
Madera.	4
Vidrio.	0.5
Plásticos	1.5
Metales	2.5
Asfalto	5
Yeso	0.2
Papel	0.3
Basura	7
Otros	4
Total	100

La diferencia más notable en las propiedades físicas de los nuevos agregados es la elevada absorción debida a la pasta de cemento adherida (Nixon, 1978). Esta propiedad influye en la trabajabilidad de las mezclas en fresco. Produciéndose disminuciones en la resistencia a compresión, no encontrándose problemas en la durabilidad, ni grandes diferencias en el módulo de deformación cuando se sustituyen los agregados gruesos. Otra propiedad es que la retracción por secado parece ser mayor en los nuevos concretos.

2.4 El concreto reciclado como principal RCD.

La utilización del concreto en grandes cantidades es una constante de la construcción convencional actual. El concreto es el material dominante en las cimentaciones y estructuras; también se utiliza en pavimentos y diversos tipos de prefabricados no estructurales. El concreto es el material más frecuente en las demoliciones (Imagen 3).



Imagen 3. Concreto demolido. (Disponible en: <http://www.eccoarquitectura.arq.br/concreto-reciclado-economia-na-construcao-civil/>).

Estos materiales están constituidos por sustancias naturales (la materia prima del cemento también tiene este origen mineral), de modo que cada tonelada de residuos de concreto que sea reciclado -por ejemplo, como agregado para un concreto nuevo, supone un ahorro aproximado de una tonelada de agregado natural (Taichi, 1977). Así pues, reciclar los residuos de obra de mampostería y concreto puede reportar ahorro de dinero y, sin duda, beneficiosos efectos ambientales.

Además de reciclar estos residuos para la obra de edificación, también pueden ser empleados en la formación del paisaje de las zonas ajardinadas comunes. El uso intensivo en obras civiles es igualmente otra buena opción: por ejemplo, en sub-bases de carreteras y para rellenar terraplenes. Todas estas prácticas ahorran los agregados naturales y reducen los impactos asociados al transporte de los residuos al vertedero.

Para reciclar los residuos pétreos es necesario utilizar maquinaria específica. Por ello, en primer lugar hay que definir el uso que tendrán estos residuos puesto que será ése uso, el que determinará el tipo de transformación a que deben someterse. Existen diferentes tipos de trituradoras de materiales pétreos que producen materiales de características asimismo diferentes: para pequeñas cantidades de obra de mampostería puede ser suficiente una trituradora de tamaño pequeño a pie de obra; para cantidades mayores de residuos o de concretos armados es necesario utilizar una central recicladora de agregados.

La producción de agregado grueso a partir de concreto reciclado es una práctica relativamente nueva que se ha venido desarrollando en gran medida en las últimas décadas. La investigación al respecto se ha enfocado a dos procedimientos distintos: uno es el de producir agregados a partir de los residuos sólidos de la construcción y demolición, y el segundo, es el de obtener los agregados a partir del concreto premezclado nuevo

proveniente de cilindros de concreto elaborados para el control de calidad de distintas obras, o del desperdicio de las propias plantas premezcladoras. Respecto al primer procedimiento, se han publicado distintos trabajos, como el de Stamatia y Taichi en 1977, quienes observaron que se producía gran cantidad de escombros de concreto en las áreas metropolitanas, por lo que decidieron estudiar la factibilidad económica de obtener agregados a partir de este. En su estudio encontraron que el costo del concreto con agregado reciclado era menor en un 38% que el concreto con agregado natural.

2.4.1 Utilización del concreto reciclado como agregado

Después de la segunda guerra mundial, se llevaron a cabo los primeros usos de materiales provenientes de la demolición de edificios, utilizándolos como agregados para producir nuevo concreto. En ese entonces, los escombros producidos por la destrucción causada por los bombardeos a ciudades, se utilizaron en la elaboración de concreto para reconstruir otras ciudades importantes, particularmente en Alemania e Inglaterra.

La comunidad europea se enfrentó en sus ciudades, destruidas por la guerra; con grandes problemas causados por la acumulación de escombros, por lo que se vieron ante la necesidad de reciclarlos, reutilizándolos como material de construcción. Después de la guerra hubo muy poco interés en cuanto a la investigación de este tema, y no fue, sino hasta que en años posteriores, cuando el interés por estudiar los residuos de concreto como agregado, aumento de manera significativa.

En Rusia, en el año de 1946, Gluzhge investigó sobre el uso de desechos de concreto como agregado, encontrando que el agregado proveniente de concreto demolido tenía un peso específico menor que el que presentaba el agregado natural, y que el concreto preparado con el agregado de concreto demolido, presentaba una menor resistencia a la compresión.

Por otra parte, en cuanto a la resistencia a la flexión, el concreto hecho con agregados de concreto demolido era mayor que la de las mezclas de control. Si se usaban agregados finos de concreto demolido, el contenido de cemento tendía a aumentar significativamente.

En Alemania, Graf estudió el uso de los desechos de construcción como agregado, en 1948, dentro de su investigación, examinó el efecto de la contaminación de yeso, añadiendo cantidades determinadas de este al producto de la demolición. Determinó que, aproximadamente un 1% de SO₃ en forma de yeso, era el nivel máximo de tolerancia, y que este último, tiende a concentrarse en el material más fino.

Hasta el 30% de agregado de concreto reciclado, no se afecta la resistencia en los cubos de concreto de 100 mm, pero se produce una reducción de la misma con el aumento del contenido de este agregado. La compensación a esta pérdida, fue mejorada con el manejo de la proporción agua/cemento (Limbachiya, 2003).

2.4.2 Características técnicas del concreto reciclado preparado con agregados reciclados y agregados naturales

Para comenzar este capítulo, es importante recordar conceptos básicos de los agregados. Los agregados son un componente muy importante del concreto, debido a que le corresponden aproximadamente tres cuartas partes de su volumen, e influyen en sus propiedades y desempeño a pesar de ser considerados un relleno inerte y económico (Chan et. al., 2003).

Los agregados gruesos consisten en una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas sean mayores que 5mm (1/5”) y menores o iguales a 38mm (1 1/2”), este debe estar libre de partículas alargadas y planas además de no tener impurezas que afecten la adherencia con la pasta de cemento (García, 2009).

Los agregados finos, comúnmente consiste en arena natural o piedra triturada, siendo sus partículas menores que 5mm (1/5”). Debe de estar libre de impurezas orgánicas que reduzcan la resistencia del concreto, por lo que tendrá que pasar por la malla no. 4 y retenerse en la malla No. 100 (García, 2009).

Varios estudios de laboratorio han comparado las propiedades del agregado resultante a partir de concreto triturado con las propiedades del agregado natural. Estos estudios iniciales, fueron realizados por Alan Buck del cuerpo de ingenieros de la Estación Experimental Waterways de Estados Unidos (WES). Buck examinó las propiedades un agregado a partir de concreto triturado con contenido de gravas chert (gruesos) y arenas naturales (finos) y otro agregado a partir de concreto triturado con caliza (grueso) y arena natural (fino), estos agregados manufacturados fueron ensayados y comparados con agregados naturales e incorporados en mezclas de concreto. De igual manera, Buck estudió las resistencias a la compresión del concreto que contiene agregados de concreto reciclado, con un a relación constante de agua/cemento, excepto el caso de dos mezclas en las que la relación agua/cemento se redujo mediante el uso de un aditivo reductor de agua, así como por la adición de ceniza volátil. Buck, también encontró resistencias disminuidas, comparadas con las de una mezcla de control. Sin embargo, pudo demostrar que la resistencia del concreto nuevo puede ser más alta que la resistencia original del concreto demolido que se incluye como agregado (Forster, 1986).

Finalmente, Buck encontró que el concreto hecho con agregado fino y grueso del concreto reciclado tiene menores asentamientos y mayores contenidos de cemento, comparado con mezclas hechas con cualquier agregado y arena natural. También notó que el concreto a partir del material agregado reciclado, tiene resistencias a la compresión de 20 a 90 kg/cm² menos que el concreto de referencia durante el periodo de prueba (edades mayores a 180 días) y, que el cambio de volumen en respuesta a los cambios de temperatura o incremento en la humedad era similar para las mezclas de concreto y para las de control.

De esta manera, la inspección visual del concreto triturado indicaba buenos tamaños de partícula. El agregado fino producido, no coincidía con los requerimientos de gradación normal, pero era utilizado en la producción de mezclas de concreto.

Diversos estudios, tales como los realizados por WES, el Departamentos de Transporte de Iowa, Minnesota, Michigan; el Tecnológico de Massachussets, y la Administración Federal de Carretes (FHWA); encontraron que las partículas de agregado producidas por el concreto triturado tienen buen tamaño, alta absorción y baja gravedad específica, en comparación con agregados minerales naturales. Otro de los autores revisados en la bibliografía, fue V.M. Malhotra, que preparó concreto con grados de resistencia alto, mediano y bajo, utilizando concreto demolido, procedente de cilindros de prueba desechados, cuyo material poseía el nivel de resistencia adecuado. Encontró que las partículas de concreto demolido tendían a adoptar formas más redondeadas y texturas de superficie más uniformes que la de los agregados frescos de caliza y ya que se encontraron grietas en la pasta de cemento hidratado adherido a las partículas de concreto demolido, se pensó que el alto grado de absorción de este agregado era causado por tales grietas.

La densidad y el contenido de aire del concreto preparado con agregados nuevos y reciclados se pueden observar en la tabla siguiente (Tabla 13).

Tabla 13. Densidad y contenido de aire de los concretos preparados con agregados reciclados y naturales. (Cruz y Velazquez, 2004)

Autor	Tipo de agregado utilizado	Relación agua/cemento	Densidad del concreto fresco (Kg/m ²)	Contenido de aire (%)
Malhotra	Agregados gruesos (concreto reciclado de baja resistencia). Finos (naturales)	0.69	2,115	6.9
	Control	0.69	2,210	6.2
	Agregados gruesos (concreto reciclado de baja resistencia). Finos (naturales)	0.67	2,240	3.5
	Control	0.67	2,275	5.3
Buck	Agregados gruesos (concreto demolido). Finos (naturales).	0.49	ND	5.7 A 6
	Agregados gruesos (concreto demolido). Finos (naturales).	0.49	ND	5.9 A 6.3
	Control	0.49	ND	6 A 6.3

Las densidades del concreto preparado con agregados reciclados, son ligeramente menores en comparación con las mezclas de control, lo cual refleja las menores densidades de agregado. Los contenidos de aire muestran un poco de variación y están en función de los agregados reciclados.

William A. Yrjanson en 1989, por su parte, presentó las siguientes conclusiones acerca del concreto reciclado:

1. El uso de concreto triturado como agregado grueso no tiene un efecto significativo sobre las proporciones en las mezclas o en su trabajabilidad con las mezclas de control.
2. Cuando el concreto triturado se usa como agregado fino, la mezcla es menos trabajable y necesita mayor cantidad de agua y en ocasiones, más cemento. Pero al sustituir el agregado fino del reciclado por arena natural en un 30% la trabajabilidad del concreto resultante, alcanza los niveles de una mezcla convencional.
3. La resistencia al congelamiento y descongelamiento de un concreto hecho con agregados reciclados es usualmente mayor al fabricado con agregados naturales.
4. El uso de agregados reciclados no tiene ningún efecto significativo en las respuestas de volumen de los especímenes de concreto por cambios de temperatura o humedad.
5. El uso de material reciclado de concretos con baja resistencia no resulta en la reducción de la resistencia a la compresión del concreto.
6. El uso de reductores de agua adicionada a la mezcla para bajar el contenido de agua, es eficiente en el incremento de resistencias de mezclas de concreto que contienen concreto reciclado como agregado.

2.4.3 Trabajabilidad y durabilidad del concreto.

La trabajabilidad depende en gran medida de la cantidad de agua libre. Si la misma cantidad de agua total se agrega a dosificaciones con agregados con distinta capacidad de absorción, la cantidad de agua libre será distinta.

Las propiedades mecánicas y físicas del concreto endurecido se ven mejoradas cuanto menor sea la relación agua libre/cemento de la dosificación. Las propiedades del hormigón no deben depender de la absorción de los áridos. Se considera que los agregados se encuentran en condición de saturación con superficie seca a fin de que la relación agua libre/cemento y el agua libre (trabajabilidad) no se vea influenciada por la porosidad/absorción del agregado (Thomas, 2012).

Buck, en sus estudios observó que las mezclas que contienen concreto demolido como agregado, ya sea fino o grueso, presentaban un revenimiento menor y un contenido de cemento mayor que el de las mezclas de concreto convencionales. Las mezclas con

agregado de concreto estaban húmedas, aunque eran más secas que las mezclas de control. Sin embargo, cuando se utilizó arena natural como agregado fino, y concreto reciclado como agregado grueso, hubo poca diferencia en el revenimiento, al igual que en el contenido de aire o cemento, en relación con la mezcla preparada con agregados naturales. De la misma manera, encontró que era posible lograr una trabajabilidad equivalente con una relación agua/cemento, mediante el uso de aditivos reductores de agua.

Por otra parte, en los trabajos de Malhorta y Frondistou-Yannas en 1985, se halló que al trabajar dentro de un rango de la relación agua/cemento, no existía diferencia significativa entre la trabajabilidad de las mezclas que contenían un agregado grueso de concreto reciclado más un agregado fino de arena natural; y las mezclas elaboradas con agregados naturales. No obstante, Malhorta utilizó agregados finos de concreto demolido y se percató que existía un aumento repentino en la cantidad de agua necesaria. Lo que hace notar, que el concreto reciclado tiene, notablemente, partículas hidratadas de cemento.

En cuanto a la durabilidad se puede definir que, *un* concreto durable es aquel que cumple satisfactoriamente unas propiedades adecuadas durante el tiempo para el ambiente en el que se encuentra.

La durabilidad depende de:

- La Densidad del concreto: adecuada cantidad de cemento y relación agua/cemento.
- De la permeabilidad: adecuada cantidad de cemento y relación agua/cemento.
- Completa compactación.
- Correcto curado: tiempo y condiciones de temperatura y humedad.

Los estudios de la resistencia al congelamiento/deshielo del concreto preparado con agregados reciclados, hechos por Malhorta y Buck, exponen que el concreto preparado con grava reciclada presentaba una mejor resistencia al congelamiento/deshielo que las del concreto preparado con grava natural, debido a que el mortero utilizado anteriormente recubre la superficie de las partículas de grava; en el concreto reciclado sella los poros e impide la entrada de agua a las partículas de sílice susceptibles al congelamiento.

2.4.4 Impurezas encontradas en el concreto reciclado y su efecto.

En los estudios existentes sobre el efecto que tienen las impurezas en el concreto reciclado, se habla del yeso como la principal fuente de contaminación.

Las sustancias perjudiciales que pueden estar presentes en los agregados incluyen impurezas orgánicas, limo, arcilla, esquisto, óxido de hierro, carbón mineral, lignito y ciertas partículas ligeras y suaves. Además, rocas y minerales, como el chert y el cuarzo deformado (Buck y Mather 1984) y ciertas calizas dolomíticas son reactivas con álcalis. El

yeso y la anhidrita pueden causar ataque de sulfatos. Ciertos agregados, como los esquistos causan erupciones por el hinchamiento (sencillamente por la absorción de agua) o por el congelamiento del agua absorbida. La mayoría de las especificaciones limitan las cantidades permisibles de estas sustancias.

Los agregados son potencialmente peligrosos si contienen compuestos considerados químicamente reactivos con el concreto de cemento portland y si producen:

- Cambio significativo del volumen de la pasta, agregados o ambos
- Interferencia en la hidratación normal del cemento
- Otros productos secundarios dañinos.

Las impurezas orgánicas pueden retrasar el fraguado y el endurecimiento del concreto, reducir el desarrollo de la resistencia y, en algunos casos poco usuales, causar la deterioración. Las impurezas orgánicas, como las turbas, los humus y las margas orgánicas pueden no ser tan perjudiciales, pero se los deben evitar.

Los materiales más finos que 75 μm (tamiz No. 200), especialmente el limo y la arcilla, pueden estar presentes como polvo suelto y pueden formar un revestimiento en las partículas de agregados. Incluso hasta los revestimientos finos de limo o arcilla, sobre las partículas de agregado grueso, pueden ser dañinos, pues debilitan la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado. Si ciertos tipos de limo o arcilla están presentes en cantidades excesivas, la demanda de agua puede aumentar significativamente.

Hay una tendencia de algunos agregados finos en degradarse por la acción de molienda en la mezcladora de concreto. Este efecto, que se mide por la ASTM C 1137, puede alterar la demanda de agua de mezcla, de aire incluido y los requisitos de revenimiento (asentamiento).

El carbón mineral o el lignito u otros materiales de baja densidad como la madera y los materiales fibrosos, cuando presentes en grandes cantidades, afectan la durabilidad del concreto. Si estas impurezas ocurren en la superficie o cerca de ella, se pueden desintegrar, causar erupciones manchas.

Las partículas blandas en el agregado grueso son especialmente indeseables pues pueden causar erupciones y pueden afectar la durabilidad y la resistencia al desgaste del concreto. Si son desmenuzables, se pueden romper y aumentar, la demanda de agua. Donde la resistencia a la abrasión sea importante, como en los pisos industriales, los ensayos pueden indicar que se justifica una investigación u otra fuente de agregados.

Los terrones de arcilla en el concreto pueden absorber parte del agua de mezcla, causar erupciones en el concreto endurecido y afectar la durabilidad y la resistencia al desgaste.

También se pueden fracturar durante el mezclado y, como consecuencia, aumentar la demanda de agua (Tabla 14).

Tabla 14. Efectos de sustancias encontradas en el concreto reciclado (Cruz y Velazquez, 2004)

Sustancia	Efecto en el concreto
Impurezas orgánicas	Afecta el tiempo de fraguado y el endurecimiento, puede causar deterioro
Material más fino que 75 μm (tamiz No. 200)	Afecta adherencia, aumenta la demanda de agua
Carbón, lignito u otro material ligero	Afecta la durabilidad, puede causar manchas y erupciones
Partículas blandas	Afecta la durabilidad
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	Afecta la trabajabilidad y la durabilidad, puede causar erupciones
Agregados reactivos con los álcalis	Causa expansión anormal, fisuración en forma de mapa (“viboritas”, piel de cocodrilo)

2.5 Gestión de los RCD

Para hacer posible la gestión de los RCD, es necesario involucrar a los diversos agentes que intervienen en el ciclo de vida de éstos. Productores, propietarios y gestores, que deberán dirigir correctamente los residuos que generan sus obras, destinándolos al reciclaje y fomentando el consumo de agregados reciclados en futuras obras de construcción.

- Orientar los RCD hacia los procesos de reciclado.
- Gestionar correctamente los RCD que producen.
- Fomentar el consumo de áridos reciclados.

Los residuos de construcción y demolición se agrupan en 3 escenarios diferentes, dependiendo del grado de limpieza o ausencia de mezclas de residuos mixtos de la construcción

- Residuos inertes limpios: Son RCD que no se encuentran mezclados con elementos contaminantes incompatibles.
- Residuos inertes mezclados: Son RCD que contienen en parte productos mixtos de la construcción.
- Residuos todo tipo: Son RCD sin seleccionar que contiene cualquier tipo de material tanto pétreo como plástico, maderas, textiles, etc.

Las tecnologías que se deben utilizar para el reciclado están relacionadas con los escenarios de los RCD, lo que establecería plantas de diversos niveles, siendo de suma importancia conocer su composición y comportamiento. Cabe recordar que los agregados reciclados deberán competir en precio y calidad con los agregados naturales en el mercado, por ello es primordial que cumplan con la normatividad existente.

2.5.1 Obtención de agregados a partir de los RCD

Después se procede a la trituración primaria, no teniendo en particular maquinaria dedicada específicamente a los agregados reciclados (KAK188).

Una de las primeras dificultades del reciclado está en el desconocimiento que se pueden tener de los orígenes y procedencia de los residuos. El proceso general de reciclaje de los RCD, comienza con la recogida y transporte de éstos a las estaciones de transferencia o directamente a las instalaciones de clasificación y tratamiento, según la distancia en que se encuentre el municipio de dichas instalaciones.

2.5.2 Limpieza preliminar

El proceso de reciclaje de los RCD comienza en una estación de recogida manual en donde se separa papel, madera y otras impurezas, serán separados en distintas fracciones según su volumen y granulometría. Los materiales no aptos, también llamados de impurezas dentro del proceso de reciclaje, deberán ser clasificados, separándose los residuos peligrosos, la parte susceptible de valorización y la parte no valorizable. Los residuos peligrosos como los amiantos, disolventes, fibras minerales, etc. deberán ser entregados a un gestor autorizado. La parte susceptible de valorización como los metales, maderas, etc. deberá ser transportada a una planta de reciclaje. Por último, la parte no valorizable, que no puede ser reaprovechada de ninguna forma, deberá ir a depósito controlado.

2.5.3 Reducción de tamaño

El residuo limpio y libre de impurezas llega a un contenedor, se descarga sobre el suelo, donde los grandes bloques se fraccionan con un martillo para conseguir un tamaño adecuado según la abertura de la trituradora.

Se realiza un pre-cribado del material previo al proceso de trituración y clasificación, que tiene por objeto realizar un control de tamaño de entrada de materiales al molino primario, separando los de excesiva granulometría de otros más pequeños. El sistema consta de una criba de 160 mm dispuesta en serie con otra criba de cortes 40 y 80 mm.

2.5.4 Trituración primaria

La trituración primaria consta de varios elementos: Molino de martillos, separador magnético, cabina de triaje, cribas y cintas transportadoras.

Un cargador frontal o pala cargadora transporta los RCD hasta la cinta de alimentación del molino primario, que rompe los bloques por efecto de compresión y corte a través de la acción de martillos. Este molino admite tamaños hasta 500 mm.

A la salida del molino, un separador magnético separa los elementos metálicos que puedan estar mezclados con los residuos y no hubieran sido detectados con anterioridad.

El material procedente del molino, salen por una cinta y pasa por la denominada cabina de triaje, consistente en un habitáculo elevado, con dos puestos de trabajo donde los operarios, de manera manual, limpian los RCD a la vez que seleccionan los materiales extraídos según su naturaleza separando los plásticos, maderas o metales no detectados con anterioridad por el separador magnético, del resto de RCD.

El agregado ya limpio se transporta a través de la cinta hasta una tolva situada encima de una criba con un tamaño de corte de 80 mm, de manera que todo el material que supere los 80 mm pasa al molino secundario mientras que el resto continúa en otra cinta a la siguiente tolva que dirige el material a una criba de tres paños de la que parten cuatro cintas formando los montones correspondientes al tamaño de las fracciones de agregado obtenidas:

- Arena 0-6 mm.
- Gravilla 6-20 mm.
- Grava 20-40 mm.
- Grava 40-80 mm.

Tras la trituración primaria se eliminan otra serie de impurezas finas como el mortero, pasándolo por una serie de tamices. Los separadores magnéticos se sitúan estratégicamente

a lo largo de las bandas transportadoras para eliminar restos de barras de armado y otras piezas de hierro y acero.

Clasificación de Plantas de Tratamiento de RCD.

- Categoría 1: plantas que aceptan RCD muy variado (VM). RCD de naturaleza orgánica e inorgánica, independientemente de la proporción.
- Categoría 2: Plantas que aceptan RCD variado en el que predomina la fracción pétreo (M). RCD con una mayor parte de la fracción pétreo (hormigón, cerámica y piedra natural), aunque se permite que los niveles de impurezas superen el 10%. Se niegan los RCD con contenido de yeso apreciable.
- Categoría 3: Plantas que solo aceptan RCD seleccionados (S). RCD seleccionado (hormigón, piedra natural y/o materiales cerámicos) con niveles de impurezas inferiores al 10%. Las plantas de reciclado de RCD pueden ser por si mismas económicamente viables siempre que exista garantía de toneladas entregadas (Salvany, 2012).

Tipos de áridos reciclados.

- Árido reciclado de hormigón: Contenido mínimo del 80% de hormigón procesado, densidad superior a 1.800 kg/
- Árido reciclado cerámico: Densidad superior a 1.600kg/ para evitar materiales excesivamente porosos y ligeros.
- Árido reciclado mixto: Materiales pétreos de diferente naturaleza como hormigón, material cerámico y otros (aplacados, aislamientos...), con una densidad seca superior a 1.200 kg (Salvany, 2012).

2.5.5 Características técnicas de la maquinaria utilizada para la trituración.

La trituradora de impacto móvil sobre orugas es el equipo ideal para las empresas principiantes en el ámbito del reciclaje y triturado como rentable en el negocio. Produce hasta 120 t/h. Se encuentra dentro de los pesos ligeros de las trituradoras con sus 19 toneladas y es silenciosa y con bajo niveles de emisiones a la atmósfera (Imagen 4). Las características mecánicas del equipo empleado para la trituración de la materia prima nos muestran la versatilidad del equipo (Tabla 15).



Imagen 4. Trituradora de impacto móvil sobre orugas. (Disponible en: <http://www.rubblemaster.com/es/products/crushers-brecher/crusher-brecher-rm-70-go/?lang=es>)

Tabla 15. Características mecánicas de trituradora de impacto móvil sobre oruga. (Rubble Master, 2013).

Trituradora de impacto móvil sobre orugas RM 70GO	
Características mecánicas	
Rendimiento	Hasta 120 t/h dependiendo del material
Tamaño de alimentación	Material de hasta 600 mm.
Abertura de entrada	760 x 600 mm.
Unidad triturada	Trituradora de impacto RUBBLE MASTER con 2 ó 4 martillos, 1 régimenes de rotor.
Operación	Un operador utilizando el radio control para trituración y maniobrabilidad.
Unidad de alimentación	Canal vibrador asimétrico de 2 m ³ y 2 motores vibradores de 3.1 kW; altura de carga 2,660 mm; dimensiones útiles (largo x ancho); 2,500 x 1800 mm. Sistema de control de la alimentación, automática dependiendo de la carga, revestimiento Hardox 400 resistente al desgaste.
Precibado	Eficiente pre-cribado por medio de criba de malla de barras. Superficie de criba 1,000 x 700 mm.; descarga por cinta principal o por cinta de descarga lateral mediante el conducto de desviación integrado.
Cinta principal de descarga (mat. Triturado)	Cinta articulada de 800 mm. de ancho, plegable hidráulicamente para transporte. Altura de descarga 2,720 mm.
Unidad de accionamiento	Motor diesel Deutz de 4 cilindros, 103 kW a 2,150 rpm. Cumple con TIER 3a/COM IIIa. Generador asíncrono trifásico 40 kVA 400 V, salidas de 230 V y 400 V para accionamientos externos de hasta 15 kVA.
Sistema de liberación	Mecanismo para tratar todo tipo de bloqueos en la trituradora.

Separador magnético	Imán extra-fuerte con giro izquierda/derecha, ancho de cinta 800 mm.
Sistema de transporte	Tracción a orugas.
Peso	19,500 kg.
Opcionales	Sistema de reducción de polvo por pulverizado de agua en la trituradora, en la salida y en las cintas. Bomba de repostaje de combustible. Mecanismo de sustitución de martillos. Control remoto por cable. Lubricación central. Placa ciega.
Equipos auxiliares	RM 0S70GO! Separador móvil del material de rechazo para la RM 70G0! Superficie de criba 1.2 x 1 m con dos cintas, peso 760 kg; para la separación rápida y económica del material de rechazo y del grano final. RM RFB70G0! Cinta de retorno a la alimentación del material de rechazo en circuito cerrado, se transporta sobre la RM 70G0! Peso 700 kg.

2.6 Empresas de Base Tecnológica

Las nuevas empresas de base tecnológica (EBT's) son empresas jóvenes, negocios pequeños y medianos que intentan comercializar una tecnología por primera vez y esperan obtener ventaja competitiva de ella, con una plataforma de conocimiento enfocada hacia la innovación. En los últimos años las EBT se han convertido en un ejemplo de colaboración exitosa entre la industria y la academia (Delapierre et al., 1998).

2.6.1 Características que definen a una EBT.

Las características de las innovaciones tecnológicas son generar productos y servicios nuevos, además de incrementar la eficiencia en productos y en procesos tradicionales, permitiendo a países y empresas posicionarse en nuevos nichos de mercado (Rodríguez, 1997).

Para Fariñas y López (2006), la creación de EBTs presenta grandes ventajas económicas y sociales debido a su potencial para lograr altas tasas de crecimiento en un plazo relativamente corto, generar artículos innovadores, crear empleos de alta calidad, además de su proclividad para generar productos con un mayor valor agregado y mejores tasas de ganancia.

Según las propias siglas empleadas comúnmente EBTs quiere decir empresas de base tecnológica y por ello posee las siguientes características:

- Empresas de menos de tres años.
- Su actividad económica principal se basa en conocimientos tecnológicos propios.
- Presentan una importante actividad de investigación y Desarrollo.
- Convierten a la Innovación en una habilidad intrínseca.

La creación de empresas se base tecnológica trae consigo una serie de beneficios que se pueden visualizar en dos sentidos:

Sociales:

- Crea innovación social porque modifica los conocimientos y la cultura de sus trabajadores, clientes y proveedores. Instituto de Investigación del Desarrollo Económico y Tecnológico A.C.
- Es germen para el desarrollo de nuevos sectores industriales, ya que las empresas de base tecnológica incorporan nuevas industrias a la región.
- Formación tecnológica en un amplio número de trabajadores.
- Creación de empleo de calidad.
- Aumento del nivel tecnológico de los trabajadores de la región frenando el desplazamiento de estos.
- Diversifica la actividad económica regional.
- Fomenta la cultura emprendedora de la región.

Económico:

- Generan un alto valor agregado en la actividad económica.
- Valoración económica de los conocimientos tecnológicos generados en los centros de investigación y Tecnología.
- A pesar del riesgo de que las empresas lanzadas fracasen, ofrecen una mejor combinación de transferencia de tecnología y retorno financiero.

2.6.2 Metodología para la creación de EBT.

Para la creación de empresas de base tecnológica en Instituto de Investigación del Desarrollo Económico y Tecnológico A.C. ha desarrollado una metodología que describe las características que deben de ser tomadas en cuenta:

I.- La Empresa de Base tecnológica:

- a) Elabora productos que requieren de un esfuerzo importante de investigación con alta valor agregado y generalmente exportable.
- b) En general las empresas de base tecnológica cuentan con una planta de trabajadores inferior a 50 empleados y un alto porcentaje son altamente calificados y bien remunerados.

- c) El espacio que ocupa una empresa de base tecnológica e pequeño y no contaminante.
- d) Constituyen un mecanismo rápido de transferencia de tecnología.
- e) Es un espacio propicio para la innovación.

II.- Elementos claves para la creación de una empresa de base tecnológica:

- a) Oportunidades de negocios.
- b) Idea clara del producto o servicio.
- c) Capacidad técnica.
- d) Capacidad de Negocios.
- e) Equipo de emprendedores experimentado.
- f) Contactos personales.
- g) Recursos.

III.- Elementos para garantizar el éxito de una empresa de base tecnológica:

- a) Formulación del Plan de Negocios.
- b) Capacitación de Emprendedores
- c) Apoyo Gubernamental.
- d) Instrumentos que apoyen la gestión.
- e) Equipo de comunicación vía Internet.
- f) Acceso a bancos de datos locales e internacionales.
- g) Apoyos tecnológicos.
- h) Investigación y Desarrollo.
- i) Innovación.

IV.- Las Empresas de Base Tecnológica deberán ser:

- a) Pequeñas.
- b) Innovadoras.
- c) Mercado Global.
- d) Mejoramiento Continuo.
- e) Estructura organizacional más horizontal.
- f) Mano de obra altamente especializada.
- g) Nuevos esquemas administrativos.
- h) Mayor apertura a nuevos enfoques.

2.6.3 Empresas de Base Tecnológica en México.

En México, las EBTs no son aún un segmento importante dentro del universo de las pequeñas y medianas empresas (PYMEs) por los problemas que enfrenta el país para el desarrollo de negocios basados en un perfil más tecnológico. En todo caso los negocios nacionales con una base tecnológica tienden a ser creados por emprendedores que buscan explotar un descubrimiento, el cual está generalmente basado en trabajos de investigación con la finalidad de obtener beneficios económicos (Corona, 1997; Pérez y Vilchis, 2005). Para las EBTs que operan en México su mayor obstáculo es su falta de capacidades tecnológicas de alto nivel debido a que su esquema empresarial requiere de la práctica de una actividad, producto o servicio con algún grado de contenido científico y tecnológico, lo que las lleva a tener muy pocos beneficios de la explotación de su propiedad intelectual (Pérez y Merritt, 2011).

2.7 Elementos fabricados con RCD (Bolardos, bancas y poste-cesto basura).

2.7.1 Diseño de sistemas de protección para delimitar espacios urbanos.

La relación que tiene el hombre con el medio, nos obliga a plantear soluciones para mantener la seguridad del peatón dentro del entorno en el cual se desenvuelve diariamente. Es por eso que se delimitan espacios urbanos para que las personas puedan recrearse de forma segura sin exponerse a percances con los vehículos que transitan por la zona. Para contrarrestar estos riesgos existen elementos que se consideran en el sistema protección, estos son incorporados en el espacio público para facilitar las actividades habituales de los usuarios.

2.7.1.1 Bolardos de concreto.

Los bolardos son elementos que sirven para la delimitación, el control y la protección de las zonas peatonales, restringiendo el acceso de vehículos (Figura 2).

Materiales.

Concreto con resistencia de 150 kg/cm^2

Anillo metálico de $\frac{1}{4}$ "

Dimensiones.

Altura: 95 cm

Ancho: 20 cm

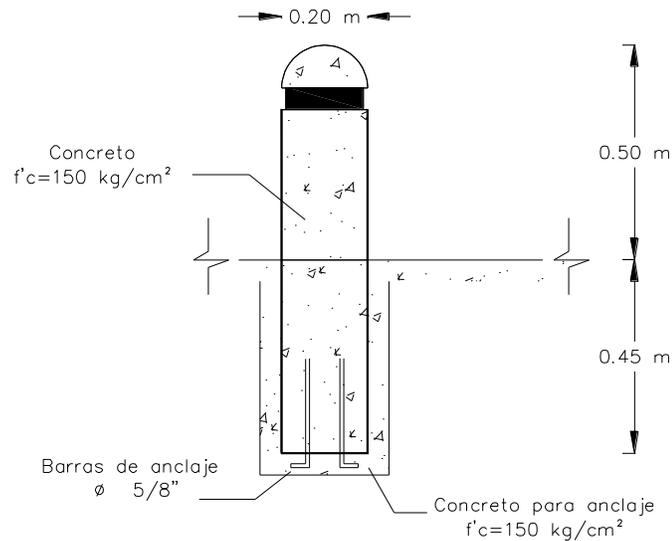


Figura 2. Bolardo de concreto reciclado.

Instalación.

- Se deberán hacer con una mezcla de concreto de 150 kg/cm^2 , con medidas de 45 cm de empotramiento sobre el pavimento y 50 cm expuesto, en color natural. No se colocaran en rampas ni franjas de circulación.
- Las distancias entre bolardos dependerán del ancho que impida el paso de los vehículos. Nunca los bolardos se deben ubicar a menos de 1.50 m de otros objetos.
- El bolardo posee varillas inferiores dispuestas para su instalación. Se anclara a una profundidad de 45 cm.
- Se debe hacer una base de 40 cm de ancho y largo variable en concreto para ubicar allí el bolardo.
- El bolardo debe quedar empotrado en la fundición de la base de concreto.
- Anillo de platina con pintura base anticorrosión, esmalte, color negro mate.
- Se deben distanciar de manera que los automóviles no puedan pasar, es recomendable evitar generar zonas con alta densidad de bolardos por lo que es conveniente alternar su uso con árboles postes etc...

Mantenimiento.

Se debe lavar con agua a presión, en caso de fractura debe ser reemplazado. En caso de ser volteado por un vehículo y no presentar fracturas se debe nivelar e instalar nuevamente.

2.7.1.2 Bancas de concreto.

Elemento urbano de descanso para espacios públicos (Figura 3).

Dimensiones.

- Con respecto al suelo: Altura de asiento: 40 cm.
- Dimensiones del plano del asiento: 0.50 m x 1.00 m
- Asiento: Madera de 2da. clase de 2"

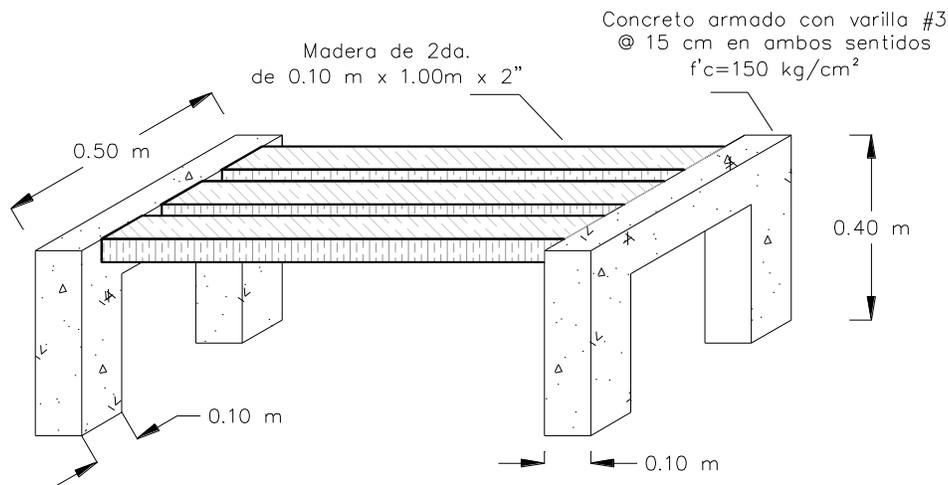


Figura 3. Banca de concreto.

Materiales.

Base: Mezcla de Concreto $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$

Asiento: Piezas de madera inmunizada de 2da. Clase, tratada con linaza o aceite de teca.

Instalación.

- La banca posee varillas inferiores dispuestas para su instalación. La banca debe quedar empotrada en el suelo de concreto con varillas de 3/8".
- Se debe hacer una base de 50 cm de ancho y largo variable en concreto con el fin de ubicar allí la banca.
- Cuando se encuentren bancas en esquina se deben ubicar dejando 60 cm entre esquinas de los objetos.

Mantenimiento.

A las piezas de madera se les debe aplicar linaza o aceite de teca cada año. Revisar el estado de la madera y reemplazar las piezas que estén podridas o astilladas. La base de concreto se debe reemplazar en caso de ruptura, en ningún caso se debe reparar, se debe reemplazar la pieza completamente.

2.7.1.3 Poste de concreto para cesto de basura.

Elemento urbano que sirve de soporte para fijar cestos de basura, en áreas de recreación social (Figura 4).

Dimensiones.

Contenedor de Residuos:

- Ancho: 24 cm.
- Altura: 40 cm.

Base Poste de Concreto:

- Diámetro: 15 cm.
- Altura: 130 cm.

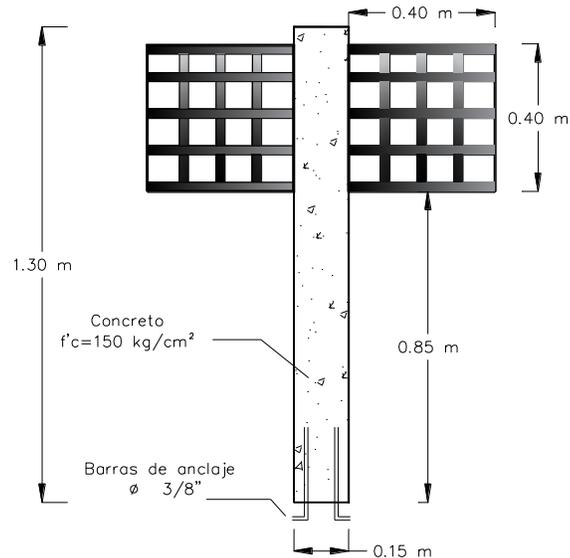


Figura 4. Poste de concreto reciclado para cesto de basura.

Materiales.

Contenedor Residuos: Bolsa plástica Polipropileno de alta densidad, cesto de estructura metálica de soporte (solera de acero de 1")

Base: Concreto f'c 150 kg/cm².

Instalación.

- La ubicación de las canecas se debe hacer en lugares con un flujo de peatones considerable o puntos de reunión.
- Su ubicación no debe entorpecer el flujo normal de personas sobre el espacio público.
- Siempre debe estar instalada sobre una base dura para garantizar su estabilidad.
- Las cestas de basura se deben ubicar sobre la franja de paralelas a la vía peatonal.
- Las cestas de basura siempre deben ponerse en pares, ya que se han diseñado tratando de incentivar el reciclaje en los ciudadanos.
- La base de la cesta se ancla al suelo con varillas de 3/8". Se debe hacer una base de 40 cm. de ancho con concreto para ubicar allí el poste para la cesta. La cesta de basura debe quedar empotrada al poste de concreto

Mantenimiento.

Se debe revisar el estado de la pintura cada año, para su acción correctiva y respectivo replazo. Si existieran abolladuras extremas el elemento debe ser remplazado.

CAPITULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación consta de un estudio descriptivo y un estudio de campo, ya que se inició teniendo como base, la recolección de datos existentes sobre el manejo de Residuos de Construcción y Demolición (RCD). Se buscó la factibilidad en la implementación de una empresa de base tecnológica, para la elaboración de elementos urbanos por medio de residuos de construcción y demolición.

La elección de elementos urbanos tales como bancas, bolardos y postes para cestos de basura, se llevará a cabo por medio de concreto reciclado, mismo que fue preparado en relación a una dosificación, calculada de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de las características mecánicas del agregado reciclado.

Se analizó el material triturado para obtener las características físicas y mecánicas de los materiales como agregados, para la elaboración y caracterización de concreto reciclado con base en las Normas Oficiales Mexicanas (NMX-C-111-ONNCCE-2004).

3.1 Obtención de muestras.

Las muestras de agregado reciclado se obtuvieron de la empresa Concretos Reciclados S.A. de C.V., ya que es la única empresa mexicana dedicada al reciclaje de los Residuos de la construcción en América Latina, ubicada en el Estado de México, fundada en el año 2004.

Las segundas muestras se obtuvieron del Bordo Poniente, donde cuentan con una trituradora de impacto, sobre orugas, que utilizan para triturar los RCD provenientes del Distrito Federal.

3.2 Procesos utilizados para el tratamiento de RCD.

Los RCD, son previamente sometidos a un proceso de limpieza manual, en el que se retira basura u otros materiales como madera, metales y plástico, posteriormente son sujetos a tratamientos de disgregación, cribado y trituración con el uso de máquinas de trituración y clasificación, computarizadas y robotizadas, equipadas con motores ecológicos, para reciclar los materiales pétreos.

El equipo utilizado para el procesamiento de agregados reciclados es el siguiente:

- Equipo de trituración primario, montado sobre orugas, robotizado y computarizado, equipado con banda electromagnética para separación de varillas y metales, manejada a control remoto, equipada con motor ecológico.
- Planta de clasificación de doble criba, montado sobre orugas, robotizado y computarizado, equipada con motor ecológico
- Cono de trituración secundaria, montada en chasis con neumáticos
- Excavadoras, cargadores frontales, camiones de volteo camionetas pick up, tracto camiones con semi-remolque de 30 m³ (Concretos Reciclados, 2006).

Se trabajó con estas muestras realizando diferentes pruebas para conocer sus características mecánicas. A cada muestra representativa de cada material se le realizaron las pruebas de laboratorio pertinentes, tales como: determinación del porcentaje de humedad, determinación del peso específico, análisis granulométrico, determinación del módulo de finura, tamaño máximo absoluto y tamaño máximo nominal del agregado, etc.

3.2.1 Limpieza y cuarteo de muestras.

La reducción de muestras de agregados ya sean gruesos o finos, los cuales previamente se obtuvieron en campo y se trasladaron a laboratorio; se realiza aplicando el método de cuarteo, de tal forma que el material reducido siga presentando las mismas características de la muestra representativa. La muestra reducida debe lograr un carácter adecuado de la muestra representativa, en la cual se reproduzcan de la mejor manera posible, los rasgos esenciales de dicha muestra, los cuales son importantes para la investigación. Para que una muestra reducida siga siendo representativa y útil, debe de reflejar las similitudes y diferencias encontradas en la muestra representativa original, es decir ejemplificar las características de ésta. Existen diferentes tipos de cuarteo de muestras, tales como el cuarteo mecánico y el cuarteo manual, entre otros. Para fines de esta investigación, el método utilizado fue el cuarteo manual. Para este método y siguiendo lo establecido en la Norma Mexicana NMX C-170-ONNCCE-1997. Agregados. , se requiere el siguiente equipo:

- Pala
- Cucharon
- Cuchara de albañil
- Brocha o cepillo
- Lona de aproximadamente 2.0 x 2.5 m

La utilización de la lona se justifica cuando el material del piso del laboratorio pueda contaminar a la muestra representativa. En este caso, la homogenización de la muestra se realiza levantando cada esquina de la lona alternadamente y jalándola sobre la muestra

hacia la esquina diagonalmente opuesta, para que el material sea volteado, el proceso se repite según criterio. Después de varias repeticiones, la mezcla se lleva hacia el centro de la lona formando una pila cónica y por medio de la pala se aplanan cuidadosamente hasta obtener un espesor y un diámetro uniformes, cuidando que cada sector que abarque una cuarta parte de la pila resultante no se mezcle con las otras partes. Posteriormente, la pila aplanada se divide en 4 partes iguales con ayuda de la cuchara de albañil, eliminando dos de las 4 partes, estas dos partes deben ser diagonalmente opuestas, incluyendo el material fino, cepillando los espacios vacíos para limpiarlos. Las 2 partes restantes, se vuelven a mezclar repitiendo el procedimiento y cuarteando sucesivamente hasta reducir la muestra al tamaño requerido por las pruebas.

Por otra parte, la importancia del contenido de agua que presenta un agregado representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica. El método tradicional de determinación de la humedad en laboratorio, es por medio del secado a horno, donde la humedad de un es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas.

3.3 Pruebas de laboratorio a muestras.

El análisis granulométrico o prueba de granulometría la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un agregado. La granulometría de los agregados es uno de los parámetros más importantes empleados para la dosificación de las mezclas para realizar concreto, puesto que constituye su esqueleto y tiene una gran influencia sobre sus propiedades. El análisis granulométrico de un agregado consiste en determinar la distribución por tamaños de las partículas que lo forman, o sea, en separar el agregado en diferentes fracciones de partículas del mismo tamaño, o de tamaños comprendidos dentro de determinados límites y en hallar el porcentaje de peso retenido de cada tamaño de agregado. El análisis granulométrico se hace cribando la muestra representativa de agregado a través de una serie de tamices normalizados y que pueden corresponder a las series: internacional ISO o ASTM, y registrando la cantidad que queda retenida en cada uno de ellos. Los tamices se colocan en una tamizadora automática.

- **Peso Específico y Absorción:** De acuerdo a la norma ASTM C127- en agregados gruesos, se determinó la relación entre la masa por unidad de volumen del material, y el aumento en el peso de los agregados debido al agua alojada en los poros del material. De acuerdo a la norma ASTM C128- en agregados finos, se llevó a cabo el proceso para determinar el peso específico saturado, el peso específico aparente y la absorción del material durante 24 hrs. del agregado fino

- El módulo de finura es un índice que sirve para clasificar los agregados pétreos en función de su granulometría.
- Tamaño máximo absoluto (Da): Corresponde a la abertura del menos tamiz de la serie establecida, el cual deja pasar el 100% de la masa del agregado.
- Tamaño Máximo Nominal (Dn): Corresponde a la abertura del tamiz inmediatamente menos al Tamaño Máximo Absoluto, cuando por dicho tamiz pasa el 90% o más de la masa del agregado. Cuando pasa menos del 90%, el Tamaño Máximo Nominal se considera igual al Tamaño Máximo Absoluto
- Revenimiento de mezclas, Se obtuvo la consistencia o fluidez de la mezcla de concreto. La consistencia se puede medir por medio de la prueba de revenimiento (norma ASTM C143).

Estos elementos urbanos elaborados, no requieren el empleo de un concreto de alta resistencia, por lo que es idóneo para el uso de agregados reciclados en su elaboración. El concreto reciclado alcanza resistencias de 150 kg/cm^3 .

CAPITULO 4. PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADAS PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA

Se realizó una serie de pruebas a cada una de las muestras representativas, las cuales por su procedencia y tratamiento, eran 4 distintas. Es por eso que se dividen de la siguiente manera:

- Agregado Natural, proveniente de banco de material
- Material proveniente de la empresa Concretos Reciclados S.A de C.V.
- Material proveniente de concreto triturado in situ.
- Material proveniente del bordo poniente.

4.1 Agregado Natural.

4.1.1 Arena: determinación de densidad relativa

El peso específico (densidad relativa) de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para proporcionamiento de mezclas y control, por ejemplo en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado. Generalmente no se le emplea como índice de calidad del agregado, aunque ciertos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado a la congelación-deshielo tengan pesos específicos bajos. La mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas entre 2.4 y 2.9.

Objetivo:

Determinar la densidad relativa de la arena para elaborar concreto hidráulico, empleando un matraz de fondo plano de 500 ml. de capacidad y su correspondiente curva de calibración.

Equipo y material que se utiliza:

- Matraz aforado a 500 ml.
- Balanza con aproximación al 0.1 gr.
- Cono truncado
- Pisón
- Termómetro
- Embudo
- Probeta de 500 ml. de capacidad
- Pizeta o gotero
- Pipeta
- Bomba de vacíos
- Horno o estufa

- Franela o papel absorbente
- Curva de calibración del matraz
- Charola de aluminio
- Espátula
- Cristal de reloj
- Arena saturada y superficialmente seca

Procedimiento para la determinación de la densidad relativa de arena:

1. Se satura la arena por 24 hrs, se le retira el agua y se logra el estado de saturado y superficialmente seco; esto se logra al tender la arena en una superficie limpia y seca, moviéndola de un lugar a otro, para que por efecto del sol y el viento, se logre el estado superficialmente seco, para lograr esto, se utiliza el cono truncado, el cual se llena con la arena en 2 capas, dándole 15 golpes con el pisón a la primera capa y 10 golpes a la segunda capa, se enrasa y se retira el cono sin hacer movimientos laterales, si la arena se queda formado el cono, esto nos dice que la arena tiene exceso de humedad, por lo cual se continúa secando y se repite lo antes descrito, hasta que en cono de arena se desmorone lentamente; que será cuando la arena llegó al estado de saturado y superficialmente seco.
2. Se pesan 2 muestras de 200 grs. cada una de arena (W_{ss}), se vierte agua al matraz hasta la mitad de la parte curva, se vacía una muestra de arena empleando para esto un embudo y en la parte inferior del matraz se coloca un fólder, por si se cae algo de material pueda ser recogido posteriormente y vaciado al matraz.

La otra muestra se somete al secado total, ya sea en la estufa o en el horno, para obtener el peso seco de arena (W_s).

3. Se extrae el aire atrapado en el suelo empleando la bomba de vacíos; el material con el agua se agita sobre su eje longitudinal, se conecta a la bomba de vacíos por 30 seg.
4. Se repite el paso anterior unas 5 veces.
5. Se completa la capacidad del matraz con agua hasta la marca de aforo, de tal manera que la parte inferior del menisco coincida con la marca (500 ml).
6. Se pesa el matraz + agua + arena (W_{mws}).
7. Se toma la temperatura de la suspensión, con esta, se entra a la curva de calibración del matraz y se obtiene el peso del matraz + agua hasta la marca de aforo (W_{mw}).

8. Se sustituyen los valores obtenidos en la fórmula siguiente y se obtiene la densidad:

$$D_r = \frac{W_s}{W_{ss} + W_{mv} + W_{mws}}$$

$$D_r = \frac{192.5}{200 + 693.3 + 810.4} = 2.32 \text{ gr/cm}^3$$

Datos	Kg.
<i>W_{ss}</i>	200
<i>W_s</i>	192.5
<i>W_{mv}</i>	693.3
<i>W_{mws}</i>	810.4
<i>D_r</i>	2.32

4.1.2 Arena: porcentaje de absorcion.

Objetivo:

Determinar la cantidad de agua que absorbe la arena para concreto, expresando esta en porcentaje con respecto al peso seco de la arena.

Procedimiento:

1. De la muestra que se puso a secar en la prueba anterior, se revisa con el cristal de reloj para comprobar que la arena ya haya perdido toda el agua, de ser así, dejar enfriar y se obtiene su peso (W_s).
2. Se obtiene el porcentaje de absorción por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción} = \frac{W_{ss} - W_s}{W_s} \times 100$$

$$\text{Absorción} = \frac{200 - 192.5}{192.5} \times 100 = 3.90\%$$

4.1.3 Arena: peso volumétrico seco (suelto y compactado).

El peso volumétrico (también llamado peso unitario o densidad en masa) de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen al que se hace referencia, es ocupado por los agregados y los vacíos entre las partículas de agregado. El peso volumétrico aproximado de un agregado usado en un concreto de peso normal, varía desde aproximadamente 1,200 kg/m³ a 1,760 kg/m³. El contenido de vacíos entre partículas afecta la demanda de mortero en el diseño de la mezcla. Los contenidos de vacíos varían desde aproximadamente 30% a 45% para los agregados gruesos hasta 40% a 50% para el agregado fino. La angularidad aumenta el contenido de vacíos; mayores tamaños de agregado bien graduado y una granulometría mejorada hacen disminuir el contenido de vacíos. Los métodos para determinar el peso volumétrico de los agregados y el contenido de vacíos, se dan en la norma ASTM C 29. Se describen tres métodos para consolidar el agregado en el recipiente, dependiendo del tamaño máximo del agregado: varillado, sacudido y vaciado con pala.

Objetivo:

Obtener la cantidad de suelo en kilogramos que se puede lograr por metro cúbico, al vaciar material a un recipiente de volumen conocido y sin darle acomodo a las partículas.

Equipo y material que se utiliza:

- Cucharón de lámina
- Recipiente de volumen conocido
- Regla o solera de 30 cms.
- Balanza de 20 kgs. de capacidad y 5 grs. de aproximación

Procedimiento:

1. La arena se seca al sol y se cuartea.
2. Se pesa el recipiente vacío.
3. Empleando el cucharón se toma material y se deja caer dentro del recipiente desde una altura de 5 cms, hasta que se llene, evitando que el material se reacomode por movimientos indebidos; después se procede a enrasar utilizando la regla de 30 cms.
4. Se pesa el recipiente conteniendo el material y se registra su peso con aproximación de 5 grs.
5. Se calcula el peso volumétrico del material seco y suelto, con la siguiente fórmula:

$$P. V. S. S = \frac{Wm}{Vr}$$

Donde:

Wm = Peso del material = kgs.

Wm = (Peso del recip. + mat.) – (Peso del recip.)

Vr = Volumen del recipiente = m^3

$$P. V. S. S = \frac{15.55 \text{ kg}}{.010 \text{ m}^3} = 1,550 \text{ kg/m}^3$$

4.1.4 Grava: determinación de densidad relativa y absorción.

Objetivo:

Determinar la densidad de la grava, empleando el Principio de Arquímedes para obtener el volumen de gravas y también determinar el porcentaje de absorción que tienen las gravas; ambos resultados tiene aplicación en lo que es el diseño de mezcla de concreto.

Equipo y material que se utiliza:

- Balanza con aproximación al 0.1 gr.
- Horno o estufa
- Franela
- Canastilla
- Charola de aluminio
- Espátula
- Cristal de reloj

Procedimiento:

1. Se dejan las gravas en saturación por 24 hrs.
2. Se les retira el agua y se secan superficialmente con una franela ligeramente húmeda, se pesa una cantidad de material cercana a los 500 grs, obteniéndose de esta forma el peso saturado y superficialmente seco de gravas (W_{sss}).

3. Se procede a determinar el volumen desalojado de gravas (Vdes.), para esto se emplea el Principio de Arquímedes, pesando las gravas en una canastilla, sumergidas en agua, obteniéndose el peso de gravas sumergidas (Wsum.).

$$Vdes = \frac{W_{sss} - W_{sum}}{\gamma_w}$$

Dónde: γ_w = Peso específico del agua = 1 gr/cm³

$$Vdes = \frac{500 - 293.1}{1} = 206.9$$

4. Sin que haya pérdida de material, se vacían las gravas a una charola para secarlas totalmente ya sea en la estufa o en el horno, obteniéndose el peso de gravas secas (Ws).

$$W_s = 481.6 \text{ gr}$$

5. Con los datos anteriores se obtiene el porcentaje de absorción de las gravas, de la siguiente manera:

$$\text{Absorción} = \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} \times 100$$

$$\text{Absorción} = \frac{500 - 481.6}{481.6} \times 100 = 3.82\%$$

6. Se determina la Densidad relativa (Dr) o Gravedad específica de la siguiente manera:

$$Dr = \frac{W_s}{(V_{real})\gamma_w} = \frac{W_s}{(V_{des.} - V_{abs.})\gamma_w}$$

Donde:

Vreal = Volumen real, en cm³

Vabs. = Volumen absorbido, en cm³

$$V_{abs.} = \frac{W_{sss} - W_s}{\gamma_w}$$

$$V_{abs.} = \frac{500 - 481.6}{1} = 18.4$$

Por lo tanto.

$$Dr = \frac{481.6}{(206.9 - 18.4)1} = 2.55 \text{ gr/cm}^3$$

4.1.5 Grava: peso volumétrico seco.

El peso volumétrico (también llamado peso unitario o densidad en masa) de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen al que se hace referencia, es ocupado por los agregados y los vacíos entre las partículas de agregado. El peso volumétrico aproximado de un agregado usado en un concreto de peso normal, varía desde aproximadamente 1,200 kg/m³ a 1,760 kg/m³. El contenido de vacíos entre partículas afecta la demanda de mortero en el diseño de la mezcla. Los contenidos de vacíos varían desde aproximadamente 30% a 45% para los agregados gruesos hasta 40% a 50% para el agregado fino. La angularidad aumenta el contenido de vacíos; mayores tamaños de agregado bien graduado y una granulometría mejorada hacen disminuir el contenido de vacíos. Los métodos para determinar el peso volumétrico de los agregados y el contenido de vacíos, se dan en la norma ASTM C 29. Se describen tres métodos para consolidar el agregado en el recipiente, dependiendo del tamaño máximo del agregado: varillado, sacudido y vaciado con pala.

Objetivo:

Obtener la cantidad de suelo en kilogramos que se puede lograr por metro cúbico, al vaciar material a un recipiente de volumen conocido y sin darle acomodo a las partículas.

Equipo y material que se utiliza:

- Cucharón de lámina
- Recipiente de volumen conocido
- Regla o solera de 30 cms.
- Balanza de 20 kgs. de capacidad y 5 grs. de aproximación

Procedimiento:

1. La grava se seca al sol y se cuartea.
2. Se pesa el recipiente vacío.
3. Empleando el cucharón se toma material y se deja caer dentro del recipiente desde una altura de 5 cms, hasta que se llene, evitando que el material se reacomode por movimientos indebidos; después se procede a enrasar utilizando la regla de 30 cms.
4. Se pesa el recipiente conteniendo el material y se registra su peso con aproximación de 5 grs.
5. Se calcula el peso volumétrico del material seco y suelto, con la siguiente fórmula:

$$P. V. S. S = \frac{Wm}{Vr}$$

Donde:

W_m = Peso del material = kgs.

W_m = (Peso del recip. + mat.) – (Peso del recip.)

V_r = Volumen del recipiente = m^3

$$P. V. S. S = \frac{14.00}{0.010} = 1,400 \text{ kg/m}^3$$

4.1.6 Análisis granulométrico de finos.

Para agregados finos se tomaron 1.200 kg y se utilizaron los tamices comprendidos entre el no. 4 y el no.200 (Tabla 16).

Tabla 16. Análisis granulométrico de agregados finos naturales.

<i>Análisis granulométrico de agregados finos</i>			Muestra (kg): 1.200	
No. tamiz	Peso retenido	% retenido	Peso retenido acumulado	% retenido acumulado
no. 4	0.0234	1.95	0.0234	1.95
no. 8	0.2336	19.47	0.2570	21.42
no. 16	0.3786	31.55	0.6356	52.97
no. 30	0.1868	15.57	0.8224	68.53
no. 50	0.1670	13.92	0.9894	82.45
no. 100	0.1137	9.48	1.1031	91.93
no. 200	0.0430	3.58	1.1461	95.51
Charola	0.0490	4.08	1.1951	99.59
		99.59		
Σ =	1.1951			
Pérdida (Kg)=	0.0049			

En base a los resultados de la tabla anterior se presenta a continuación la curva granulométrica para los agregados naturales finos (Figura 5).

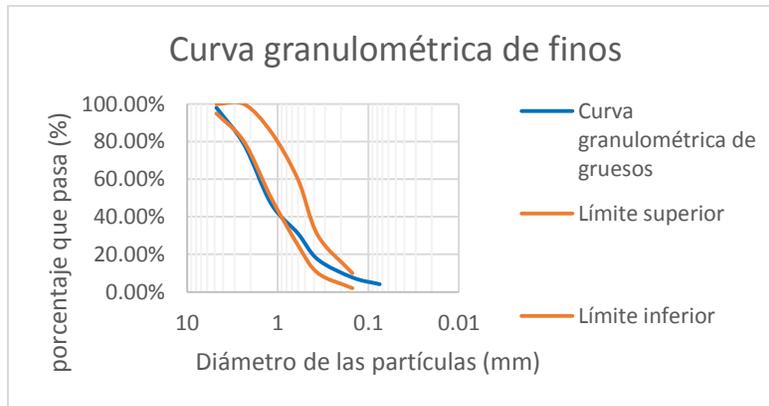


Tabla 17. Análisis granulométrico de agregados gruesos naturales.

Análisis granulométrico de agregados gruesos			Muestra (kg):	5.000
No. tamiz	Peso retenido	% retenido	Peso retenido acumulado	% retenido acumulado
2"	0.000	0.00	0.000	0.00
1 1/2"	0.000	0.00	0.000	0.00
1"	0.040	0.80	0.040	0.80
3/4"	0.170	3.40	0.210	4.20
1/2"	0.810	16.20	1.020	20.40
3/8"	1.230	24.60	2.250	45.00
1/4"	1.340	26.80	3.590	71.80
4"	0.810	16.20	4.400	88.00
Charola (arena)	0.600	12	5.000	100.00
$\Sigma=$	5.000			
Pérdida (Kg)=	0.000			

En base a los resultados de la tabla anterior se presenta a continuación la curva granulométrica para los agregados naturales gruesos (Figura 6).

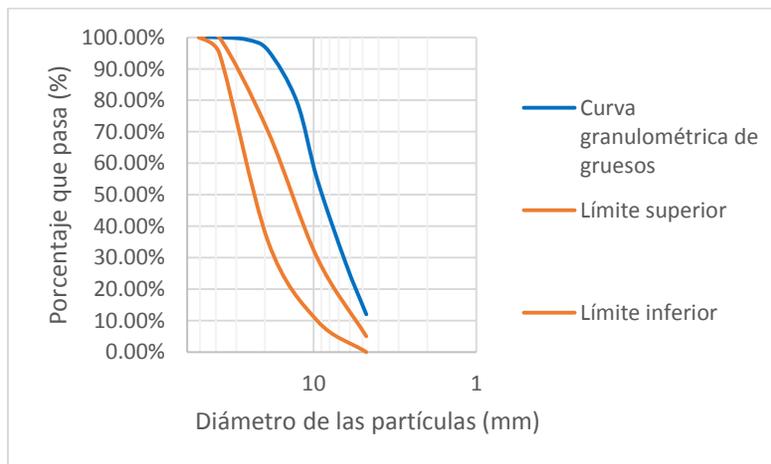


Figura 6. Curva Granulométrica de agregados naturales gruesos.

4.1.9 Determinación del tamaño máximo absoluto y tamaño máximo nominal del agregado

- Tamaño máximo absoluto (Da): Da: 1 ½”.
- Tamaño Máximo Nominal (Dn): Dn: 1”.

4.2 Material proveniente de concretos reciclados

Reactivos/ Insumos

- Muestra de arena reciclada proveniente de la empresa Concretos Reciclados S.A. de C.V.
- Muestra de grava reciclada proveniente de la empresa Concretos Reciclados S.A. de C.V.

Materiales/ Utensilios.

- Juego de mallas
 - 2”
 - 1 ½”
 - 1”
 - ¾”
 - ½”
 - ⅜”
 - ¼”
 - No. 4
 - No. 10
 - No.20
 - No.40
 - No.60
 - No.100
 - No.200
 - Charola
- Cuchara.
- Cucharón.
- Cepillo de alambre.
- Franela.
- Brocha
- Lona de 1.20m x 1.20m
- Lona de 1.70m x 2.30m

Equipos/ Instrumentos

- Báscula electrónica de precisión.
- Agitador mecánico.

Total del material proveniente de Concretos Reciclados: 235.50 kg. Lo cual venia distribuida de la siguiente manera:

- Costal 1 arena: 34.77 kg
- Costal 2 arena: 42.25 kg
- Costal 3 arena: 49.35 kg
- Costal 4 grava: 41.61 kg
- Costal 5 grava: 29.75 kg
- Costal 6 grava: 37.80 kg

Se realizó la revisión exhaustiva de cada costal de material proveniente de la empresa Concretos Reciclados S.A. de C.V., para retirar los residuos contaminantes encontrados, en su mayoría pedazos de madera, plástico, lazo, y hojuelas de pintura seca.

Residuos encontrados: 0.150 kg (Imagen 5).



Imagen 5. Residuos encontrados en la muestra proveniente de Concretos Reciclados.

4.2.1 Reducción de muestras

Se realizó la reducción de las muestras representativas por medio del método de cuarteo manual. Se cuartearon arena y grava por separado (Imagen 6 y 7).



Imagen 6. Cuarteo de muestra proveniente de Concretos Reciclados.



Imagen 7. Cuarteo de muestra proveniente de Concretos Reciclados.

4.2.2 Determinación del contenido de humedad

Para determinar el porcentaje de humedad en finos, se tomaron 3.000 kg de la muestra de arena cuarteada. Dicha muestra se metió en el horno a 60°C durante lapsos de 30 minutos, cada vez que el periodo de tiempo se cumplía se sacaba la muestra del horno para tomar lectura de su peso y así determinar el porcentaje de humedad que perdió.

Se obtuvo el siguiente registro (Tabla 18):

Tabla 18. Contenido de humedad en finos provenientes de Concretos Reciclados.

<i>Porcentaje de humedad en finos</i>				<i>Muestra(kg):</i>	3.000
<i>Lapso (min):</i>	30			<i>Temperatura de horno (°c):</i>	60
No. lectura	Peso	Pérdida	% humedad	Pérdida acumulada	% humedad acumulado
1	3.000	0.000	0.00	0.000	0.00
2	2.967	0.033	0.83	0.033	0.83
3	2.946	0.021	0.52	0.054	1.35
4	2.928	0.018	0.45	0.072	1.80
5	2.915	0.013	0.32	0.085	2.13
6	2.898	0.017	0.42	0.102	2.55

Después de 3:00 horas de lecturas continuas se determinó que el porcentaje de humedad de la arena proveniente de Concretos Reciclados fue de 2.55%, perdiendo 0.102 kg de su peso original.

4.2.3 Análisis granulométrico de finos

Para realizar el análisis granulométrico se cuartearon las muestras de arena y grava por separado en la lona (imagen 8).



Imagen 8. Cuarteo de muestra de finos proveniente de Concretos Reciclados.

Para agregados finos se tomaron 1.200 kg y se utilizaron los tamices comprendidos entre el no. 4 y el no.200. El tamizado se realizó de forma manual, ya que por la fuerza del agitador automático, el agregado se molía demasiado y modificaba la granulometría.

Se obtuvo el siguiente registro de datos (Tabla 19):

Tabla 19. Análisis granulométrico de agregados finos provenientes de Concretos Reciclados.

Análisis granulométrico de agregados finos			Muestra (Kg):	1.200
No. tamiz	Peso retenido	% retenido	Peso retenido acumulado	% retenido acumulado
no. 4	0.0270	2.25	0.0270	2.25
no. 8	0.3395	28.29	0.3665	30.54
no. 16	0.3076	25.63	0.6741	56.18
no. 30	0.1340	11.17	0.8081	67.34
no. 50	0.1366	11.38	0.9447	78.73
no. 100	0.1005	8.38	1.0452	87.10
no. 200	0.0667	5.56	1.1119	92.66
Charola	0.0827	6.89	1.1946	99.55
$\Sigma=$	1.1946			
Pérdida (Kg)=	0.0054			

En base a los resultados de la tabla anterior se presenta a continuación la curva granulométrica para los agregados finos procedentes de Concretos Reciclados (Figura 7).

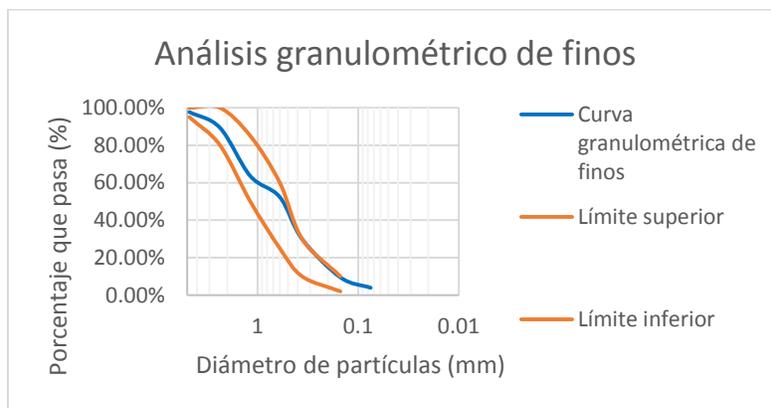


Figura 7. Curva granulométrica de agregados finos procedentes de Concretos Reciclados.

4.2.4 Determinación del módulo de finura.

Para el cálculo del módulo de finura (MF) utilizamos la siguiente fórmula:

$$MF = \frac{\sum \% \text{Retenido Acumulado desde el Tamiz N}^\circ 4 \text{ al N}^\circ 100}{100}$$

$$MF = 322.13/100=3.22$$

El módulo de finura debe estar comprendido entre 2.30 y 3.1, por lo que el resultado obtenido está apenas por encima del parámetro permisible, lo cual significa que se trata de una arena gruesa y el material es apto para realizar con él, el diseño de mezcla correspondiente.

4.2.5 Análisis granulométrico de gruesos.

Para agregados gruesos tomamos 5.000 kg. (Imagen 9).



Imagen 9. Cuarteo de muestra de gruesos proveniente de Concretos Reciclados.

La configuración de tamices está comprendida entre la malla de abertura 2" hasta la malla no. 4 en forma descendente.

Para el proceso de tamizado se utilizó el agitador mecánico durante 2 minutos (Imagen 10).



Imagen 10. Agitador mecánico tamizando muestras.

Se obtuvieron los siguientes datos (Tabla 20):

Tabla 20. Análisis granulométrico de agregados gruesos provenientes de Concretos Reciclados.

<i>Análisis granulométrico de agregados gruesos</i>			Muestra (Kg):	5.000
No. tamiz	Peso retenido	% retenido	Peso retenido acumulado	% retenido acumulado
2"	0.000	0.00	0.000	0.00
1 1/2"	0.000	0.00	0.000	0.00
1"	0.200	4.00	0.200	4.00
3/4"	1.100	22.00	1.300	26.00
1/2"	2.590	51.80	3.890	77.80
3/8"	0.960	19.20	4.850	97.00
1/4"	0.020	0.40	4.870	97.40
4"	0.070	1.40	4.940	98.80
Charola (arena)	0.060	1.2	5.000	100.00
Σ =	5.000			
Pérdida (Kg)=	0.000			

Equipo y material que se utiliza:

- Matraz aforado a 500 ml.
- Balanza con aproximación al 0.1 gr.
- Cono truncado
- Pisón
- Termómetro
- Embudo
- Probeta de 500 ml. de capacidad
- Pizeta o gotero
- Pipeta
- Bomba de vacíos
- Horno o estufa
- Franela o papel absorbente
- Curva de calibración del matraz
- Charola de aluminio
- Espátula
- Cristal de reloj
- Arena saturada y superficialmente seca

Procedimiento:

Para la determinación de la densidad relativa de arena

1. Se satura la arena por 24 hrs, se le retira el agua y se logra el estado de saturado y superficialmente seco; esto se logra al tender la arena en una superficie limpia y seca, moviéndola de un lugar a otro, para que por efecto del sol y el viento, se logre el estado superficialmente seco, para lograr esto, se utiliza el cono truncado, el cual se llena con la arena en 2 capas, dándole 15 golpes con el pisón a la primera capa y 10 golpes a la segunda capa, se enrasa y se retira el cono sin hacer movimientos laterales, si la arena se queda formado el cono, esto nos dice que la arena tiene exceso de humedad, por lo cual se continúa secando y se repite lo antes descrito, hasta que en cono de arena se desmorone lentamente; que será cuando la arena llegó al estado de saturado y superficialmente seco.
2. Se pesan 2 muestras de 200 grs. cada una de arena (W_{ss}), se vierte agua al matraz hasta la mitad de la parte curva, se vacía una muestra de arena empleando para esto un embudo y en la parte inferior del matraz se coloca un fólter, por si se cae algo de material pueda ser recogido posteriormente y vaciado al matraz.

La otra muestra se somete al secado total, ya sea en la estufa o en el horno, para obtener el peso seco de arena (W_s).

3. Se extrae el aire atrapado en el suelo empleando la bomba de vacíos; el material con el agua se agita sobre su eje longitudinal, se conecta a la bomba de vacíos por 30 segundos.
4. Se repite el paso anterior unas 5 veces.
5. Se completa la capacidad del matraz con agua hasta la marca de aforo, de tal manera que la parte inferior del menisco coincida con la marca (500 ml).
6. Se pesa el matraz + agua + arena (W_{mws}).
7. Se toma la temperatura de la suspensión, con esta, se entra a la curva de calibración del matraz y se obtiene el peso del matraz + agua hasta la marca de aforo (W_{mw}).
8. Se sustituyen los valores obtenidos en la fórmula siguiente y se obtiene la densidad:

$$D_r = \frac{W_s}{W_{ss} + W_{mv} + W_{mws}}$$

Donde:

D_r = Densidad relativa o Gravedad específica.

DATOS	Kg.
W_{ss}	200
W_s	180.4
W_{mv}	693.3
W_{mws}	801.1
D_r	1.96

4.2.8 Arena: porcentaje de absorción.

Objetivo:

Determinar la cantidad de agua que absorbe la arena para concreto, expresando esta en porcentaje con respecto al peso seco de la arena.

Procedimiento:

3. De la muestra que se puso a secar en la prueba anterior, se revisa con el cristal de reloj para comprobar que la arena ya haya perdido toda el agua, se ser así, de deja enfriar y se obtiene su peso (W_s).
4. Se obtiene el porcentaje de absorción por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción} = \frac{W_{ss} - W_s}{W_s} \times 100$$

$$\text{Absorción} = \frac{200 - 180.4}{180.4} \times 100 = 10.86\%$$

4.2.9 Arena: peso volumétrico seco (suelto y compactado)

El peso volumétrico (también llamado peso unitario o densidad en masa) de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen al que se hace referencia, es ocupado por los agregados y los vacíos entre las partículas de agregado. El peso volumétrico aproximado de un agregado usado en un concreto de peso normal, varía desde aproximadamente 1,200 kg/m³ a 1,760 kg/m³. El contenido de vacíos entre partículas afecta la demanda de mortero en el diseño de la mezcla. Los contenidos de vacíos varían desde aproximadamente 30% a 45% para los agregados gruesos hasta 40% a 50% para el agregado fino. La angularidad aumenta el contenido de vacíos; mayores tamaños de agregado bien graduado y una granulometría mejorada hacen disminuir el contenido de vacíos. Los métodos para determinar el peso volumétrico de los agregados y el contenido de vacíos, se dan en la norma ASTM C 29. Se describen tres métodos para consolidar el agregado en el recipiente, dependiendo del tamaño máximo del agregado: varillado, sacudido y vaciado con pala.

a) Peso volumétrico seco y suelto de la arena

Objetivo:

Obtener la cantidad de suelo en kilogramos que se puede lograr por metro cúbico, al vaciar material a un recipiente de volumen conocido y sin darle acomodo a las partículas.

Equipo y material que se utiliza:

- Cucharón de lámina
- Recipiente de volumen conocido
- Regla o solera de 30 cms.
- Balanza de 20 kgs. de capacidad y 5 grs. de aproximación

Procedimiento:

1. La arena se seca al sol y se cuartea.
2. Se pesa el recipiente vacío.
3. Empleando el cucharón se toma material y se deja caer dentro del recipiente desde una altura de 5 cms, hasta que se llene, evitando que el material se reacomode por movimientos indebidos; después se procede a enrasar utilizando la regla de 30 cms.
4. Se pesa el recipiente conteniendo el material y se registra su peso con aproximación de 5 grs.
5. Se calcula el peso volumétrico del material seco y suelto, con la siguiente fórmula:

$$P. V. S. S = \frac{Wm}{Vr}$$

Donde:

Wm = Peso del material = kgs.

Wm = (Peso del recip. + mat.) – (Peso del recip.)

Vr = Volumen del recipiente = m^3

$$P. V. S. S = \frac{14.05 \text{ kg}}{.010 \text{ m}^3} = 1,450 \text{ kg/m}^3$$

4.2.10 Grava: determinación de densidad relativa y absorción.

Objetivo:

Determinar la densidad de la grava, empleando el Principio de Arquímedes para obtener el volumen de gravas y también determinar el porcentaje de absorción que tienen las gravas; ambos resultados tiene aplicación en lo que es el diseño de mezcla de concreto.

Equipo y material que se utiliza:

- Balanza con aproximación al 0.1 gr.
- Horno o estufa
- Franela
- Canastilla
- Charola de aluminio
- Espátula
- Cristal de reloj

Procedimiento:

1. Se dejan las gravas en saturación por 24 hrs.
2. Se les retira el agua y se secan superficialmente con una franela ligeramente húmeda, se pesa una cantidad de material cercana a los 500 grs, obteniéndose de esta forma el peso saturado y superficialmente seco de gravas (W_{sss}).
3. Se procede a determinar el volumen desalojado de gravas ($V_{des.}$), para esto se emplea el Principio de Arquímedes, pesando las gravas en una canastilla, sumergidas en agua, obteniéndose el peso de gravas sumergidas ($W_{sum.}$).

$$V_{des} = \frac{W_{sss} - W_{sum}}{\gamma_w}$$

Dónde: γ_w = Peso específico del agua = 1 gr/cm³

$$V_{des} = \frac{500 - 266}{1} = 234$$

4. Sin que haya pérdida de material, se vacían las gravas a una charola para secarlas totalmente ya sea en la estufa o en el horno, obteniéndose el peso de gravas secas (W_s).

$$W_s = 472.6 \text{ gr}$$

5. Con los datos anteriores se obtiene el porciento de absorción de las gravas, de la siguiente manera:

$$\text{Absorción} = \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} \times 100$$

$$\text{Absorción} = \frac{500 - 472.6}{472.6} \times 100 = 5.80\%$$

6. Se determina la Densidad relativa (D_r) o Gravedad específica de la siguiente manera:

$$D_r = \frac{W_s}{(V_{real})\gamma_w} = \frac{W_s}{(V_{des.} - V_{abs.})\gamma_w}$$

Donde:

V_{real} = Volumen real, en cm³

$V_{abs.}$ = Volumen absorbido, en cm³

$$V_{abs.} = \frac{W_{sss} - W_s}{\gamma_w}$$

$$V_{abs.} = \frac{500 - 472.6}{1} = 27.4$$

Por lo tanto.

$$Dr = \frac{472.6}{(234 - 27.4)1} = 2.29$$

4.2.11 Grava: peso volumétrico seco.

El peso volumétrico (también llamado peso unitario o densidad en masa) de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen al que se hace referencia, es ocupado por los agregados y los vacíos entre las partículas de agregado. El peso volumétrico aproximado de un agregado usado en un concreto de peso normal, varía desde aproximadamente 1,200 kg/m³ a 1,760 kg/m³. El contenido de vacíos entre partículas afecta la demanda de mortero en el diseño de la mezcla. Los contenidos de vacíos varían desde aproximadamente 30% a 45% para los agregados gruesos hasta 40% a 50% para el agregado fino. La angularidad aumenta el contenido de vacíos; mayores tamaños de agregado bien graduado y una granulometría mejorada hacen disminuir el contenido de vacíos. Los métodos para determinar el peso volumétrico de los agregados y el contenido de vacíos, se dan en la norma ASTM C 29. Se describen tres métodos para consolidar el agregado en el recipiente, dependiendo del tamaño máximo del agregado: varillado, sacudido y vaciado con pala.

Objetivo:

Obtener la cantidad de suelo en kilogramos que se puede lograr por metro cúbico, al vaciar material a un recipiente de volumen conocido y sin darle acomodo a las partículas.

Equipo y material que se utiliza:

- Cucharón de lámina
- Recipiente de volumen conocido
- Regla o solera de 30 cms.
- Balanza de 20 kgs. de capacidad y 5 grs. de aproximación

Procedimiento:

1. La grava se seca al sol y se cuartea.
2. Se pesa el recipiente vacío.
3. Empleando el cucharón se toma material y se deja caer dentro del recipiente desde una altura de 5 cms, hasta que se llene, evitando que el material se reacomode por movimientos indebidos; después se procede a enrasar utilizando la regla de 30 cms.
4. Se pesa el recipiente conteniendo el material y se registra su peso con aproximación de 5 grs.
5. Se calcula el peso volumétrico del material seco y suelto, con la siguiente fórmula:

$$P.V.S.S = \frac{Wm}{Vr}$$

Donde:

Wm = Peso del material = kgs.

Wm = (Peso del recip. + mat.) – (Peso del recip.)

Vr = Volumen del recipiente = m^3

$$P.V.S.S = \frac{11.60}{0.010} = 1,160 \text{ kg/m}^3$$

4.3 Material proveniente de concreto triturado in situ.**Reactivos/ Insumos**

- Muestra de arena reciclada proveniente de concreto triturado in situ
- Muestra de grava reciclada proveniente de concreto triturado in situ

Materiales/ Utensilios.

- Juego de mallas
 - 2"
 - 1 ½"
 - 1"
 - ¾"
 - ½"
 - 3/8"
 - ¼"
 - No. 4
 - No. 10

- No.20
- No.40
- No.60
- No.100
- No.200
- Charola
- Cuchara.
- Cucharón.
- Cepillo de alambre.
- Franela.
- Brocha
- Lona de 1.20m x 1.20m
- Lona de 1.70m x 2.30m

Equipos/ Instrumentos

- Báscula electrónica de precisión.
- Agitador mecánico.

Total del material proveniente del bordo poniente: 181.98 kg. Lo cual venia distribuida de la siguiente manera:

- Costal 1: 36.770 kg
- Costal 2: 36.030 kg
- Costal 3: 31.090 kg
- Costal 4: 34.080 kg
- Costal 5: 24.710 kg
- Costal 6: 19.300 kg

Se revisó el material de cada costal para retirar, en medida de lo posible, los residuos encontrados, en su mayoría fibras de bambú. Residuos encontrados: 0.013 kg. (Imagen 11).



Imagen 11. Residuos encontrados en la muestra de concreto triturado in situ. .

4.3.1 Reducción de muestras

Ya que el material triturado venia junto (agregado fino y agregado grueso), se realizaron trabajos de cuarteo para su separación (Imagen 12 y 13).



Imagen 12. Reducción de muestra proveniente de concreto triturado in situ.



Imagen 13. Cuarteo de muestra proveniente de concreto triturado in situ.

Se registraron los siguientes datos (Tabla 21):

Tabla 21. Separación de agregados finos y agregados gruesos

CONCRETO TRITURADO IN SITU						
<i>Costal</i>	<i>Peso</i>	<i>Grava</i>	<i>Arena</i>	<i>Cuarteo</i>	<i>Testigo</i>	<i>Pérdida</i>
1	36.770	6.480	12.489	18.969	17.730	0.071
2	36.030	5.450	11.850	17.300	18.640	0.090
3	31.090	3.930	10.950	14.880	16.190	0.020
4	34.080	4.920	11.420	16.340	17.640	0.100
5	24.710	4.680	8.310	12.990	11.700	0.020
6	19.300	2.660	6.310	8.970	10.240	0.090
Σ	181.980	28.120	61.329	89.449	92.140	0.391

Debido a que en los cuarteos obtuvimos más del doble de agregados finos con respecto a los gruesos, para emparejar las muestras y que ambas fueras proporcionadas y representativas, se removió toda la grava restante de los testigos. Obteniendo (Tabla 22):

Tabla 22. Retiro de grava para completar muestra representativa de 50 Kg.

<i>Costal</i>	<i>Testigo</i>	<i>Grava</i>	<i>Nvo. testigo</i>	<i>Pérdida</i>
1	17.730	5.360	12.330	0.040
2	18.640	5.720	12.880	0.040
3	16.190	3.940	12.240	0.010
4	17.640	5.344	12.240	0.056
5	11.700	3.740	7.840	0.120
6	10.240	3.380	6.730	0.130
Σ	92.140	27.484	64.260	0.396

Por lo tanto los agregados quedaron de la siguiente manera:

Finos (arena): 125.589 kg

Gruesos (grava): 55.604 kg

Pérdida: 0.787 kg

4.3.2 Determinación del contenido de humedad.

Para determinar el porcentaje de humedad en finos, se tomaron 3.000 kg de la muestra de arena cuarteada. Dicha muestra fue metida en el horno a 60°C durante lapsos de 30 minutos, cada vez que el periodo de tiempo se cumplía se sacaba la muestra del horno para tomar lectura de su peso y así determinar el porcentaje de humedad que perdió.

Se obtuvo el siguiente registro (Tabla 23):

Tabla 23. Contenido de humedad de finos provenientes del Concreto triturado in situ.

<i>Porcentaje de humedad en finos</i>			<i>Muestra(Kg):</i>		3.000
<i>Lapso (min):</i>	30	<i>Temperatura de horno (°C):</i>			60
No. Lectura	Peso	Pérdida	% humedad	Pérdida acumulada	% humedad acumulado
1	3.000	0.000	0.00	0.000	0.00
2	2.983	0.017	0.42	0.017	0.42
3	2.976	0.007	0.19	0.024	0.61
4	2.967	0.008	0.21	0.033	0.82
5	2.962	0.005	0.12	0.038	0.94

Después de 2:30 horas de lecturas continuas se determinó que el porcentaje de humedad de la arena proveniente de concreto triturado in situ fue de 0.94%, perdiendo 0.038 kg de su peso original.

4.3.3 Análisis granulométrico de finos.

Para realizar el análisis granulométrico se cuartearon las muestras de arena y grava por separado en la lona (Imagen 14).



Imagen 14. Lona para realizar cuarteo de muestras.

Para agregados finos tomamos 1.200 kg y utilizamos los tamices comprendidos entre el no. 4 y el no.200. El tamizado se realizó de forma manual, ya que por la fuerza del agitador automático, el agregado se molía demasiado y modificaba la granulometría. (Imagen 15, 16 y 17)



Imagen 15. Cuarteo de agregados finos provenientes de concreto triturado in situ.

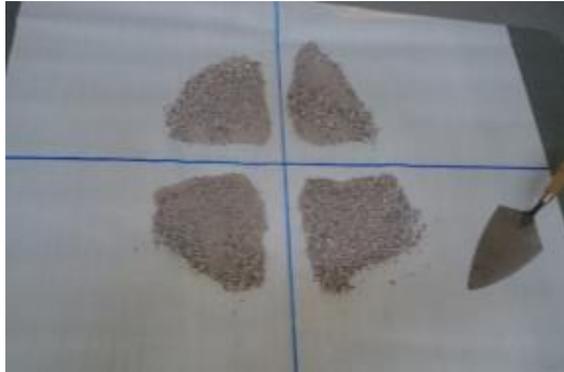


Imagen 16. Cuarteo de agregados finos provenientes de concreto triturado in situ.



Imagen 17. Tamizado de finos para análisis granulométrico.

Los datos obtenidos fueron los siguientes (Tabla 24):

Tabla 24. Análisis granulométrico de agregados finos provenientes del concreto demolido in situ.

Análisis granulométrico de agregados finos			Muestra (Kg):	1.200
No. Tamiz	Peso retenido	% retenido	Peso retenido acumulado	% retenido acumulado
no. 4	0.0053	0.44	0.0053	0.44
no. 8	0.4181	34.84	0.4234	35.28
no. 16	0.3962	33.02	0.8196	68.30
no. 30	0.1353	11.28	0.9549	79.58
no. 50	0.1206	10.05	1.0755	89.63
no. 100	0.0702	5.85	1.1457	95.48
no. 200	0.0297	2.48	1.1754	97.95
Charola	0.0188	1.57	1.1942	99.52
$\Sigma=$	1.1942			
Pérdida (Kg)=	0.0058			

En base a los resultados de la tabla anterior se presenta a continuación la curva granulométrica para los agregados finos triturados *in situ* (Figura 9).

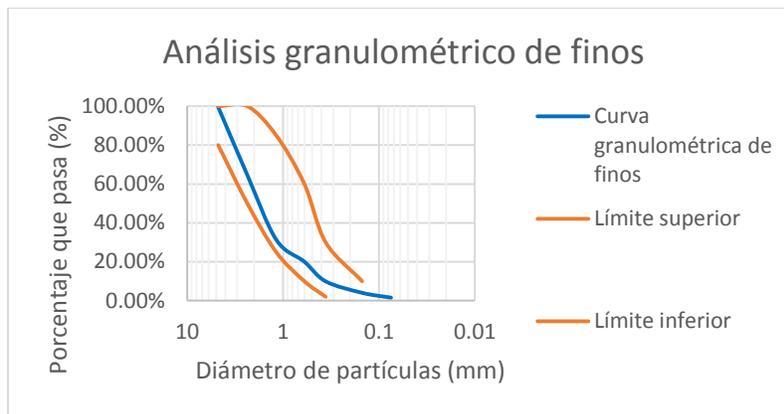


Figura 9. Curva granulométrica de agregados finos triturados in situ.

4.3.4 Determinación del módulo de finura.

Para el cálculo del módulo de finura (MF) utilizamos la siguiente fórmula:

$$MF = \frac{\sum \% \text{Retenido Acumulado desde el Tamiz N}^\circ 4 \text{ al N}^\circ 100}{100}$$

$$MF = 368.70 / 100 = \mathbf{3.69}$$

El módulo de finura debe estar comprendido entre 2.30 y 3.1, por lo que el resultado obtenido está fuera del parámetro permisible. Y a pesar de ser considerada una arena gruesa, el material no es funcional para el diseño de los productos de este proyecto.

4.3.5 Análisis granulométrico de gruesos.

Para agregados gruesos tomamos 5.000 kg.

La configuración de tamices está comprendida entre la malla de abertura 2" hasta la malla no. 4 en forma descendente. (Imagen 18 y 19)



Imagen 18. Cuarteo de agregados gruesos para análisis granulométrico



Imagen 19. Cuarteo de agregados gruesos para análisis granulométrico.

Para el proceso de tamizado se utilizó el agitador mecánico durante 2 minutos (Imagen 23).



Imagen 20. Tamizado de agregados gruesos provenientes de concreto triturado in situ en agitador mecánico.

Se obtuvieron los siguientes datos (Tabla 25):

Tabla 25. Análisis granulométrico de agregados gruesos provenientes del concreto reciclado *in situ*.

Análisis granulométrico de agregados gruesos			Muestra (Kg):	5.000
No. Tamiz	Peso retenido	% retenido	Peso retenido acumulado	% retenido acumulado
2"	0.000	0.00	0.000	0.00
1 1/2"	0.000	0.00	0.000	0.00
1"	0.030	0.60	0.030	0.60
3/4"	0.120	2.40	0.150	3.00
1/2"	1.010	20.20	1.160	23.20
3/8"	1.190	23.80	2.350	47.00
1/4"	1.340	26.80	3.690	73.80
4"	1.170	23.40	4.860	97.20
Charola (arena)	0.140	2.8	5.000	100.00
$\Sigma=$	5.000			
Pérdida (Kg)=	0.000			

En base a los resultados de la tabla anterior se presenta a continuación la curva granulométrica para los agregados gruesos triturados *in situ* (Figura 10).

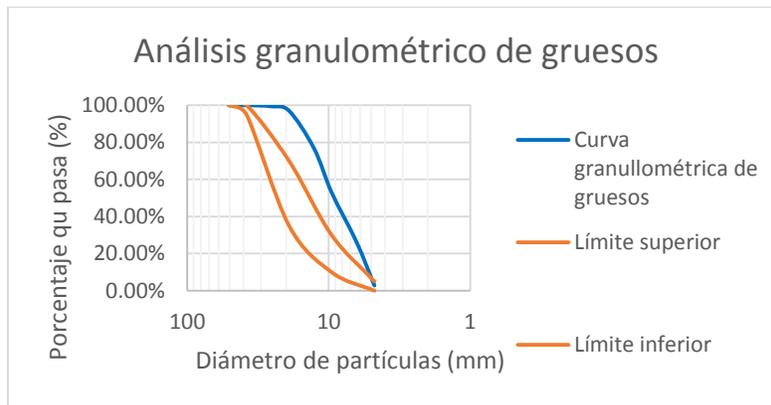


Figura 10. Curva granulométrica de agregados gruesos triturados *in situ*.

4.3.6 Determinación del tamaño máximo absoluto y tamaño máximo nominal del agregado

- Tamaño máximo absoluto (Da): Da: 1 ½”.
- Tamaño Máximo Nominal (Dn): Dn: 1”.

4.4 Material proveniente del bordo poniente

Reactivos/ Insumos

- Muestra de arena reciclada proveniente del Bordo Poniente
- Muestra de grava reciclada proveniente del Bordo Poniente

Materiales/ Utensilios.

- Juego de mallas
 - 2”
 - 1 ½”
 - 1”
 - ¾”
 - ½”
 - ⅜”
 - ¼”
 - No. 4
 - No. 10
 - No.20
 - No.40
 - No.60
 - No.100
 - No.200
 - Charola
- Cuchara.
- Cucharón.
- Cepillo de alambre.
- Franela.
- Brocha
- Lona de 1.20m x 1.20m
- Lona de 1.70m x 2.30m

Equipos/ Instrumentos

- Báscula electrónica de precisión.
- Agitador mecánico.

Total del material proveniente del bordo poniente: 358.94 kg. Lo cual venia distribuida de la siguiente manera:

Arena:

- Costal 1: 39.000 kg
- Costal 2: 59.100 kg

Grava

- Costal 1: 70.200 kg
- Costal 2: 65.470 kg
- Costal 3: 71.340 kg
- Costal 4: 53.83 kg

Se revisó el material de cada costal para retirar, en medida de lo posible, los residuos encontrados (plástico, clavos, madera, cartón, hojuelas de pintura, rafia, lazo, etc). Residuos encontrados: 0.230 kg (Imagen 21).



Imagen 21. Residuos encontrados en la muestra proveniente de Bordo Poniente.

Después de realizar la revisión exhaustiva de cada uno de los costales de arena, determinamos que el 2 y el 4 no serían tomados en cuenta para realizar las pruebas posteriores, puesto que estaban integrados en su mayoría por material demasiado arcilloso (Imagen 22).



Imagen 22. Revisión de muestra proveniente de Bordo Poniente.

4.4.1 Reducción de muestras.

Se cuartearon las muestras de arena y grava por separado (Imagen 23 y 24).



Imagen 23. Reducción de muestra proveniente de concreto Reciclados.



Imagen 24. Reducción de muestra proveniente de concreto Reciclados.

4.4.2 Determinación del contenido de humedad

Para determinar el porcentaje de humedad en finos, se tomaron 4.000 kg de la muestra de arena cuarteada. Dicha muestra fue metida en el horno a 60°C durante lapsos de 30 minutos, cada vez que el periodo de tiempo se cumplía se sacaba la muestra del horno para tomar lectura de su peso y así determinar el porcentaje de humedad que perdió.

Se obtuvo el siguiente registro (Tabla 26).

Tabla 26. Contenido de humedad de agregados finos provenientes del Bordo Poniente.

<i>Porcentaje de humedad en finos</i>				<i>Muestra(Kg):</i>	4.000
<i>Lapso (min):</i>		30	<i>Temperatura de horno (°C):</i>		60
No. Lectura	Peso	Pérdida	% humedad	Pérdida acumulada	% humedad acumulado
1	4.000	0.000	0.00	0.000	0.00
2	3.980	0.020	0.50	0.020	0.50
3	3.940	0.040	1.00	0.060	1.50
4	3.920	0.020	0.50	0.080	2.00
5	3.844	0.076	1.90	0.156	3.90
6	3.836	0.008	0.20	0.164	4.10
7	3.825	0.011	0.27	0.175	4.37
8	3.816	0.009	0.23	0.184	4.60

Después de 4 horas de lecturas continuas se determinó que el porcentaje de humedad de la arena proveniente de bordo poniente fue de 4.60%, perdiendo 0.184 kg de su peso original.

4.4.3 Análisis granulométrico de finos.

Para agregados finos tomamos 1.200 kg y utilizamos los tamices comprendidos entre el no. 4 y el no.200. El tamizado se realizó de forma manual, ya que por la fuerza del agitador automático, el agregado se molía demasiado y modificaba la granulometría. Los datos obtenidos fueron los siguientes (Tabla 27):

Tabla 27. Análisis granulométrico de agregados finos provenientes del Bordo Poniente.

<i>Análisis granulométrico de agregados finos</i>			Muestra (Kg):	1.200
No. tamiz	Peso retenido	% retenido	Peso retenido acumulado	% retenido acumulado
no. 4	0.3153	26.28	0.3153	26.28
no. 8	0.2265	18.88	0.5418	45.15
no. 16	0.2395	19.96	0.7813	65.11
no. 30	0.0980	8.17	0.8793	73.28
no. 50	0.0977	8.14	0.9770	81.42
no. 100	0.0769	6.41	1.0539	87.83
no. 200	0.0563	4.69	1.1102	92.52
Charola	0.0823	6.86	1.1925	99.38
$\Sigma=$	1.1925			
Pérdida (Kg)=	0.0075			

En base a los resultados de la tabla anterior se presenta a continuación la curva granulométrica para los agregados finos procedentes del Bordo Poniente (Figura 11).

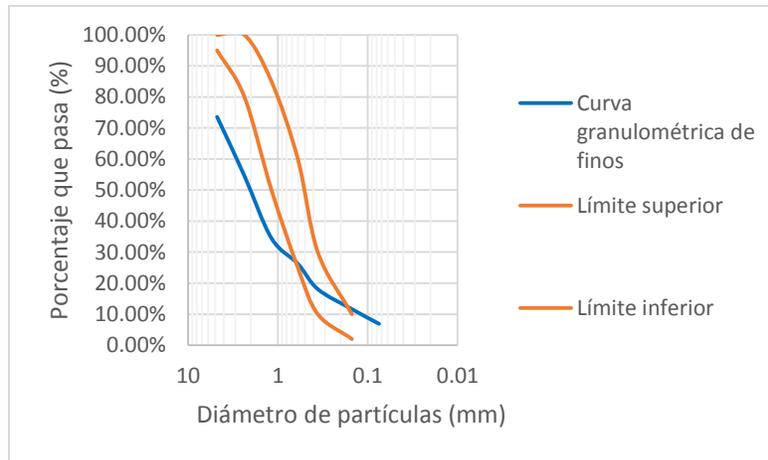


Figura 11. Curva granulométrica de agregados finos procedentes del Bordo Poniente.

4.4.4 Determinación del módulo de finura

Para el cálculo del módulo de finura (MF) utilizamos la siguiente fórmula:

$$MF = \frac{\sum \% \text{Retenido Acumulado desde el Tamiz N}^\circ 4 \text{ al N}^\circ 100}{100}$$

$$MF = 379.05 / 100 = \mathbf{3.79}$$

El módulo de finura debe estar comprendido entre 2.30 y 3.1, por lo que el resultado obtenido está fuera del parámetro permisible. Y debido a que el resultado está muy por encima del parámetro esperado, el material no es funcional para el diseño de los productos de este proyecto.

4.4.5 Análisis granulométrico de gruesos.

Para agregados gruesos tomamos 5.000 kg. La configuración de tamices está comprendida entre la malla de abertura 2" hasta la malla no. 4 en forma descendente. Para el proceso de tamizado se utilizó el agitador mecánico durante 2 minutos. (Imagen 25 y 26).



Imagen 25. Muestra de agregado grueso proveniente de Bordo Poniente para análisis granulométrico.



Imagen 26. Tamizado de muestra de agregados gruesos proveniente de Bordo ponientoe para análisis granulométrico.

Se obtuvieron los siguientes datos (Tabla 28):

Tabla 28. Análisis granulométrico de agregados gruesos provenientes del Bordo Poniente.

Análisis granulométrico de agregados gruesos			Muestra (Kg):	5.000
No. tamiz	Peso retenido	% retenido	Peso retenido acumulado	% retenido acumulado
2"	0.000	0.00	0.000	0.00
1 1/2"	0.000	0.00	0.000	0.00
1"	0.060	1.20	0.060	1.20
3/4"	0.310	6.20	0.370	7.40
1/2"	1.200	24.00	1.570	31.40
3/8"	0.860	17.20	2.430	48.60
1/4"	0.040	0.80	2.470	49.40
4"	1.310	26.20	3.780	75.60
Charola (arena)	1.210	24.2	4.990	99.80
Σ =	4.990			
Pérdida (Kg)=	0.010			

En base a los resultados de la tabla anterior se presenta a continuación la curva granulométrica para los agregados gruesos procedentes del Bordo Poniente (Figura 12).

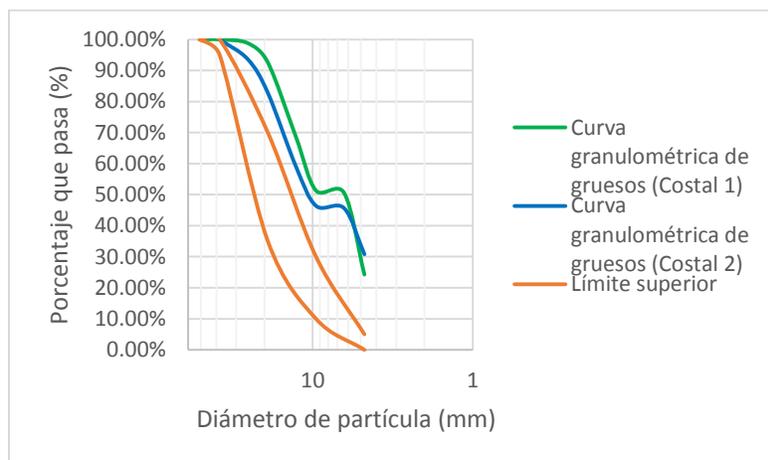


Figura 12. Curva granulométrica de agregados gruesos procedentes del Bordo Poniente.

4.4.6 Determinación del tamaño máximo absoluto y tamaño máximo nominal del agregado.

- Tamaño máximo absoluto (Da): Da: 1 ½”.
- Tamaño Máximo Nominal (Dn): Dn: 1”.

4.5 Diseño de mezclas para diferentes proporciones de RCD según el ACI

Existen una gran cantidad de métodos empíricos de diseño de mezclas para obtener concretos con características específicas, sin embargo todos estos métodos deben ser tomados solamente como referenciales pues siempre requieren de pruebas de laboratorio para su afinamiento.

A continuación se presenta el método propuesto por el ACI, en la norma 211.1-70.

4.5.1 100% Agregados Reciclados.

Se fabricará concreto de resistencia característica $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ donde se procurará tener un tipo de control de calidad de producción aceptable, con un asentamiento de 80 a 100 mm en el cono de Abrams. Se empleará cemento Portland ordinario (tipo I). El tamaño máximo del agregado reciclado grueso es de 38.5 mm y su peso volumétrico aparente (incluidos los espacios vacíos) es de 1160 kg/m^3 ; su densidad es de 2.29 gr/cm^3 . El agregado reciclado fino tiene un módulo de finura de 3.22 (suma de porcentajes totales retenidos en cada tamiz desde el tamiz #4 hasta el tamiz #100, dividido entre cien) y una densidad de 2.06 gr/cm^3 .

1. Lo primero que se determina es la variabilidad de la resistencia del concreto, en base al nivel de control de calidad del proceso de mezclado, para lo que se puede utilizar la siguiente tabla:

Tabla 29. Variabilidad de la resistencia del concreto.

TIPO DE CONTROL	DESVIACION ESTANDAR (σ)
Muy bueno	0.07 fm
Bueno	0.14 fm
Regular	0.21 fm
Deficiente	0.28 fm

Dado que nuestro tipo de control es Bueno, la desviación estándar sería de 0.14 fm.

Para un 5% de muestras que no alcancen la resistencia especificada se emplea la siguiente fórmula del ACI (American Concrete Institute):

$$f'c = fm - 1.65 \sigma$$

Reemplazando el valor de σ en la ecuación:

$$f'c = fm - 1.65 (0.14 fm)$$

$$f'c = fm - 0.231 fm$$

$$f'c = 0.769 fm$$

Se calcula la resistencia media del concreto fm, que siempre será superior a su resistencia característica.

$$fm = \frac{f'c}{0.769} = \frac{150 \text{ kg/cm}^2}{0.769}$$

$$fm = 195 \text{ kg/cm}^2$$

- Se determina la cantidad de agua que se requiere por m³ de concreto, y el porcentaje de volumen de aire atrapado, en función del tamaño máximo del agregado (38.5 mm) y del asentamiento en el cono de Abrams (80-100 mm), de acuerdo a la tabla 30:

Tabla 30. Cantidad aproximada de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de los agregados.

Revenimiento (mm)	Cantidad de agua ³ (Kg/m de concreto para agregados de tamaño máximo)							
	10 mm	12.5 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	70 mm	150 mm
30 a 50	205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100	225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180	240	230	210	205	185	180	170	¾
Contenido de aire atrapado (porcentaje)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Cantidad de agua por metro cúbico de concreto = 175 kg tomado de la tabla y el porcentaje de volumen de aire atrapado = 1%.

Tomando como referencia la normativa española, cuando se utilice el 100% de agregado reciclado, se incrementará un 15 % del peso del agua debido al alto porcentaje de absorción de éstos y por lo tanto el cemento también incrementara en forma proporcional. Por lo tanto:

Cantidad de agua por metro cúbico de concreto = 201.25 kg

- La relación agua / cemento de la mezcla (medida en peso) se puede estimar de la siguiente figura tomada del libro Propiedades del Concreto de A. M. Neville, que se detalla a continuación, para una resistencia media de 195 Kg/cm², medida a los 28 días (Figura 5).

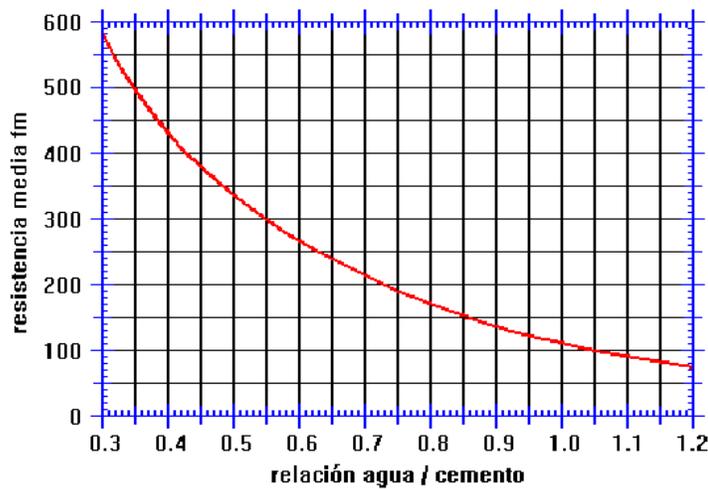


Figura 13. Relación agua/cemento (propiedades del concreto A. M. Neville)

Relación agua / cemento = 0.74

- El contenido de cemento será:
Peso de cemento = peso del agua / 0.74 = 201.25 kg / 0.74 = 272 kg.
- Se calcula el volumen aparente de agregado grueso mediante la siguiente tabla (Tabla 31), en función del módulo de finura del agregado fino (3.22) y el tamaño máximo del agregado grueso (38.5 mm).

Tabla 31. Volumen aparente del agregado grueso.

Tamaño máximo del agregado	Volumen de agregado grueso compactado y seco, por volumen de concreto para módulo de finura de la arena de:				
(mm)	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20
10	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51
20	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58
25	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
40	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67
50	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70
70	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74
150	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79

El volumen aparente del agregado grueso = 0.67 m^3 .

1. El peso del agregado reciclado grueso se obtiene multiplicando su volumen aparente por su peso específico aparente.

$$\text{Peso agregado reciclado grueso} = 0.67 \text{ m}^3 \times 1160 \text{ Kg/m}^3 = 777.2 \text{ Kg.}$$

2. Se calculan los volúmenes efectivos de cemento, agua, agregado grueso y aire atrapado:

$$\text{Volumen cemento} = \frac{272 \text{ kg}}{3150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.086 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen agua} = \frac{201.25 \text{ kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.201 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen grava} = \frac{777.2 \text{ kg}}{2290 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.340 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de aire atrapado} = 0.01 \times 1 \text{ m}^3 = 0.01 \text{ m}^3$$

3. Se calcula el volumen de agregado fino.

$$\text{Volumen agregado reciclado fino} = 1.000 \text{ m}^3 - 0.086 \text{ m}^3 - 0.201 \text{ m}^3 - 0.340 \text{ m}^3 - 0.010 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen agregado reciclado fino} = 0.363 \text{ m}^3$$

4. Se calcula el peso del agregado reciclado fino.

$$\text{Peso agregado reciclado fino} = (0.363 \text{ m}^3) \cdot (2.06 \times 1000 \text{ Kg/ m}^3) = 747.7 \text{ Kg}$$

Tabla 32. Cantidades de elementos para la fabricación de 1 m3 de concreto.

MATERIAL	VOLUMEN NETO	PESO
Cemento	0.086 m ³	272.00 Kg
Agregado fino	0.363 m ³	747.70 Kg
Agregado grueso	0.340 m ³	777.20 Kg
Agua	0.201 m ³	201.25 Kg
Aire atrapado	0.010 m ³	0.00 Kg

Ahora se ajustarán los volúmenes a los requeridos para la capacidad de 3 cilindros cuyas medidas son:

Diámetro = 15 cm.

Altura = 30 cm.

Se obtiene el volumen con la siguiente expresión:

$$\text{Volumen cilindro} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi 0.15^2}{4} 0.30 = 0.0053 \text{ m}^3$$

Se fabricarán 3 cilindros para obtener un promedio más exacto de la resistencia que alcanzarán.

$$\text{Volumen de 3 cilindros} = 0.0053 \text{ m}^3 \times 3 = 0.016 \text{ m}^3.$$

Tabla 33. Cantidades de elementos para la fabricación de 3 cilindros de concreto con agregados reciclados.

MATERIAL	VOLUMEN NETO	PESO
Cemento	0.001 m ³	4.35 Kg
Agregado fino	0.006 m ³	11.96 Kg
Agregado grueso	0.005 m ³	12.44 Kg
Agua	0.003 m ³	3.22 Kg
Aire atrapado	0.000 m ³	0.00 Kg

4.5.2 50% Agregado reciclado y 50% Agregado natural.

El procedimiento para el cálculo de los cilindros de 50% agregado reciclado y 50% agregado natural que utilizaremos es el mismo que el anterior; de los datos obtenidos de la tabla 29 de agregados reciclados, se tendrán que multiplicar por el 50% tal y como se observa en la tabla 34.

Tabla 34. Cantidades de elementos para la fabricación de 3 cilindros de concreto con agregados reciclados al 50%.

MATERIAL	VOLUMEN NETO	PESO	50%
Cemento	0.001 m ³	4.35 Kg	2.18 kg
Agregado fino	0.006 m ³	11.96 Kg	5.68 kg
Agregado grueso	0.005 m ³	12.44 Kg	6.22 kg
Agua	0.003 m ³	3.22 Kg	1.61 kg
Aire atrapado	0.000 m ³	0.00 Kg	0.00 kg

Para el agregado natural se realiza el mismo método del ACI en la norma 211.1-70:

Se fabricó concreto de resistencia característica $f'_c = 150 \text{ kg/cm}^2$ donde tendremos un tipo de control de calidad bueno de producción, con un asentamiento de 80 a 100 mm en el cono de Abrams. Se empleará cemento Portland ordinario (tipo I). El tamaño máximo del agregado grueso es de 38.1 mm y su peso volumétrico aparente (incluidos los espacios vacíos) es de 1400 kg/m^3 ; su densidad es de 2.55 gr/cm^3 . El agregado fino tiene un módulo

de finura de 3.19 (suma de porcentajes totales retenidos en cada tamiz desde el tamiz #4 hasta el tamiz #100, dividido entre cien) y una densidad de 2.32 gr/cm^3 .

1. Se determina la cantidad de agua que se requiere por m^3 de concreto, y el porcentaje de volumen de aire atrapado, en función del tamaño máximo del agregado (38.1 mm) y del asentamiento en el cono de Abrams (80-100 mm), mediante la Tabla 27:

Cantidad de agua por metro cúbico de concreto = 175 kg tomado de la tabla y el porcentaje de volumen de aire atrapado = 1%.

1. La relación agua / cemento de la mezcla (medida en peso) se puede estimar de la figura 5 mostrada anteriormente, para una resistencia media de 195 Kg/cm^2 , medida a los 28 días.

Relación agua / cemento = 0.74

2. El contenido de cemento será:
Peso de cemento = peso del agua / 0.74 = $175 \text{ kg} / 0.74 = 236.5 \text{ kg}$.
3. Se calcula el volumen aparente de agregado grueso mediante la Tabla 28, en función del módulo de finura del agregado fino (3.19) y el tamaño máximo del agregado grueso (38.1 mm).

El volumen aparente del agregado grueso = 0.67 m^3 .

4. El peso del agregado reciclado grueso se obtiene multiplicando su volumen aparente por su peso específico aparente.

Peso agregado reciclado grueso = $0.67 \text{ m}^3 \times 1400 \text{ Kg/m}^3 = 938 \text{ Kg}$.

5. Se calculan los volúmenes efectivos de cemento, agua, agregado grueso y aire atrapado:

$$\text{Volumen cemento} = \frac{236.5 \text{ kg}}{3150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.075 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen agua} = \frac{175 \text{ kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.175 \text{ m}^3$$

$$Volumen\ grava = \frac{938\text{ kg}}{2550\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.367\text{ m}^3$$

$$Volumen\ de\ aire\ atrapado = 0.01 \times 1\text{ m}^3 = 0.01\text{ m}^3.$$

6. Se calcula el volumen de agregado fino.

$$Volumen\ agregado\ reciclado\ fino = 1.000\text{ m}^3 - 0.075\text{ m}^3 - 0.175\text{ m}^3 - 0.367\text{ m}^3 - 0.010\text{ m}^3$$

$$Volumen\ agregado\ reciclado\ fino = 0.373\text{ m}^3$$

7. Se calcula el peso del agregado reciclado fino.

$$Peso\ agregado\ reciclado\ fino = (0.373\text{ m}^3) \cdot (2.32 \times 1000\text{ Kg/ m}^3) = 865.6\text{ Kg}$$

(Véase Tabla 29).

Ahora se ajustarán los volúmenes a los requeridos para la capacidad de 3 cilindros cuyas medidas son:

Diámetro = 15 cm.

Altura = 30 cm.

Se obtiene el volumen con la siguiente expresión:

$$Volumen\ cilindro = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi 0.15^2}{4} 0.30 = 0.0053\text{ m}^3$$

Se fabricarán 3 cilindros para obtener un promedio más exacto de la resistencia que alcanzarán con un 50% de agregado natural, por lo que los valores se dividirán a la mitad.

$$Volumen\ de\ 3\ cilindros = 0.0053\text{ m}^3 \times 3 = 0.016\text{ m}^3.$$

Tabla 35. Cantidades de elementos para la fabricación de 3 cilindros de concreto con agregados naturales al 50%.

MATERIAL	VOLUMEN NETO	PESO	50%
Cemento	0.001 m ³	3.78 kg	1.89 kg
Agregado fino	0.006 m ³	13.85 kg	6.93 kg
Agregado grueso	0.006 m ³	15.01 kg	7.50 kg
Agua	0.003 m ³	2.80 kg	1.40 kg
Aire atrapado	0.000 m ³	0.00 Kg	0.00 kg

4.5.3 30% Agregado reciclado y 70% Agregado natural.

Los datos de los cilindros de 30% agregado reciclado y 70% agregado natural se obtendrán de las tablas 29 y 31, las cuales se multiplicará el valor del peso por 30% y 70% respectivamente.

Tabla 36. Cantidades de elementos para la fabricación de 3 cilindros de concreto con agregados reciclados al 30%.

MATERIAL	VOLUMEN NETO	PESO	30%
Cemento	0.001 m ³	4.35 Kg	1.31 kg
Agregado fino	0.006 m ³	11.96 Kg	3.41 kg
Agregado grueso	0.005 m ³	12.44 Kg	3.73 kg
Agua	0.003 m ³	3.22 Kg	0.97 kg
Aire atrapado	0.000 m ³	0.00 Kg	0.00 kg

Tabla 37. Cantidades de elementos para la fabricación de 3 cilindros de concreto con agregados naturales al 70%.37

MATERIAL	VOLUMEN NETO	PESO	70%
Cemento	0.001 m ³	3.78 kg	2.65 kg
Agregado fino	0.006 m ³	13.85 kg	9.70 kg
Agregado grueso	0.006 m ³	15.01 kg	10.51 kg
Agua	0.003 m ³	2.80 kg	1.96 kg
Aire atrapado	0.000 m ³	0.00 Kg	0.00 kg

4.6 Prueba de revenimiento.

Un concreto de calidad uniforme y satisfactoria requiere que los materiales se mezclen totalmente hasta que tenga una apariencia uniforme. La mezcla de concreto debe tener una trabajabilidad apropiada para su fácil colocación; una vez endurecido el concreto tendrá que cumplir con el requisito de resistencia para soportar las distintas solicitaciones a las que podrá estar expuesto y además deberá poseer una adecuada durabilidad frente a las condiciones de exposición a las que será sometido.

Un componente muy importante de la trabajabilidad es la consistencia o fluidez de la mezcla de concreto. La consistencia de una mezcla de concreto es un término general que se refiere al carácter de la mezcla con respecto a su grado de fluidez; y abarca todos los grados de fluidez, desde la más seca hasta la más fluida de todas las mezclas posibles.

La consistencia se puede medir por medio de la prueba de revenimiento, la cual tiene por objeto determinar la consistencia o fluidez de la mezcla de la mezcla de concreto.

En general, existen varios tipos de consistencia:

- a) Consistencia seca: aquélla en la cual la cantidad de agua es pequeña y simplemente la suficiente para mantener las partículas de cemento y agregados juntas.
- b) Consistencia dura o rígida: posee un poco más de agua que la del tipo a).
- c) Consistencia húmeda. La cantidad de agua es bastante apreciable y se trata de un concreto fluido.

Se llama revenimiento a la diferencia de altura que existe entre la parte superior del molde y la parte superior de la mezcla fresca cuando ésta se ha asentado después de haber retirado el molde. Esta diferencia de alturas se expresa en cm y varía según la fluidez del concreto.

Revenimiento es la propiedad del concreto con que se busca correlacionar la facilidad de colocación del material y la correcta consolidación en la estructura.

Sin embargo, esta característica no ha garantizado la homogeneidad y consolidación del concreto en la estructura debido a que en el proceso de colocación interviene la mano de obra.

La forma que adopta el cono de la mezcla de concreto puede presentarse de las siguientes formas (Figura 7):

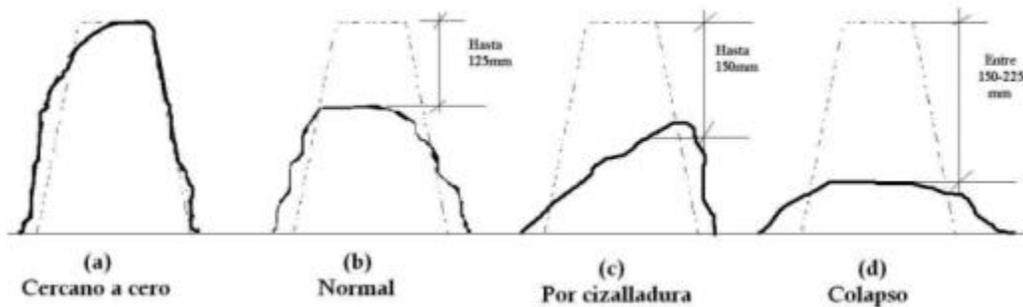


Figura 14. Formas que adopta la mezcla en las pruebas de revenimiento (IMCYC, 1989).

- Revenimiento cercano a cero: Puede ser el resultado del concreto que tiene todos los requisitos de trabajabilidad pero con poco contenido de agua, o se trata de un concreto hecho con agregados gruesos que permiten que el agua drene fuera de la mezcla de concreto sin que esto produzca algún cambio de volumen.
- Revenimiento normal: Se trata de concreto con buena o excelente trabajabilidad. El revenimiento usado para concreto estructural se sitúa entre 5 y 18 cm.
- Revenimiento por cizalladura o cortante: Indica que el concreto carece de plasticidad y cohesión. Un resultado satisfactorio de esta prueba es cuestionable.
- Colapso en el revenimiento: Indica un concreto obtenido con concretos pobres, hechos con agregados gruesos en exceso o mezclas extremadamente húmedas. En este tipo de concretos, el mortero tiende a salir del concreto, quedando el material grueso en el centro del cono. Hay segregación. Debido a los múltiples factores que afectan la trabajabilidad (contenido de agua de la mezcla, tamaño máximo de los agregados, granulometría, forma y textura, etc) la prueba de revenimiento, si bien proporciona una indicación de la consistencia y en ciertas mezclas también de la trabajabilidad, no es capaz de distinguir entre mezclas de características distintas, pero es muy útil para detectar las variaciones de uniformidad y humedad de la mezcla.

Equipo utilizado:

- Cono estándar de revenimiento (10cm de diámetro en la parte superior x 20cm de diámetro en la parte inferior x 30cm de altura).
- Cucharón
- Varilla con punta redondeada (60cm de largo x 16 mm de diámetro).
- Regla o cinta métrica.
- Placa metálica para prueba de revenimiento.

Procedimiento

1. Se humedeció el cono con agua y se colocó sobre la placa metálica - anteriormente limpiada y humedecida - con la abertura más angosta en la parte superior.
2. Se vertió la mezcla cuidadosamente dentro del cono hasta 1/3 de su volumen. El cono se debe mantener lo más firme posible, esto se logra parándose sobre los estribos que tiene este en la parte inferior. La mezcla se compactó empujando la varilla dentro del concreto, siguiendo un patrón definido, desde la parte exterior hacia la parte de en medio. A este proceso se le llama varillado. Se debe hacer 25 repeticiones.
3. Se vertió más mezcla dentro del cono, esta vez hasta 2/3 del volumen y nuevamente se varilló 25 veces, hasta la parte superior de la primera capa.
4. Se llenó con mezcla el cono hasta el límite superior, y se removió el excedente. se varilló una vez más hasta la parte superior de la segunda capa.
5. Se levantó cuidadosa y lentamente el cono en dirección recta, de manera que no se mueva bruscamente la muestra.
6. Por gravedad la forma cónica que toma la muestra se comenzara a deshacer una vez que se retira el cono, este último se colocó al revés, sobre la placa metálica para estar a la misma altura de la mezcla. Con la varilla puesta de manera horizontal sobre el cono se toma la lectura de la diferencia de alturas que existe entre el cono y el punto más alto de la mezcla (Imagen 27, 28 y 29).



Imagen 27. Mezcla hecha para prueba de revenimiento.



Imagen 28. Varillado de mezcla para eliminación de vacíos.



Imagen 29. Retiro de cono de Abrams para medir revenimiento de mezcla.

4.6.1 100% Agregados reciclados provenientes de Concretos Reciclados.

Para determinar el revenimiento (Imagen 30), se tomaron tres medidas, el punto más alto de la pila cónica, el punto más bajo y un punto medio para obtener un promedio.

- El punto más alto: 60 mm



Imagen 30. Revenimiento 1 de mezcla 100% agregados reciclados.

- El punto medio: 64 mm. (Imagen 31).



Imagen 31. Revenimiento 2 de mezcla 100% agregados reciclados.

- El punto más bajo: 98 mm. (Imagen 32).
-



Imagen 32. Revenimiento 3 de mezcla 100% agregados reciclados.

Revenimiento promedio = 74 mm ó 7.4 cm. El revenimiento obtenido fue menor que 125 mm por lo que puede ser considerado como un revenimiento normal.

4.6.2 50% Agregados reciclados provenientes de Concretos Reciclados y 50% Agregados naturales

Para determinar el revenimiento, se tomaron tres medidas, el punto más alto de la pila cónica, el punto más bajo y un punto medio para obtener un promedio.

- El punto más alto: 54 mm (Imagen 33).



Imagen 33. Revenimiento 1 de mezcla 50% agregados reciclados y 50% agregados naturales.

- El punto medio: 67 mm (Imagen 34).



Imagen 34. Revenimiento 2 de mezcla 50% agregados reciclados y 50% agregados naturales.

- El punto más bajo: 78 mm (Imagen 35).



Imagen 35. Revenimiento 3 de mezcla 50% agregados reciclados y 50% agregados naturales.

Revenimiento promedio = 66.3 mm ó 6.6 cm

El revenimiento obtenido fue menor que 125 mm por lo que puede ser considerado como un revenimiento normal.

4.6.3 30% Agregados reciclados provenientes de Concretos Reciclados y 70% Agregados naturales.

Para determinar el revenimiento, se tomaron tres medidas, el punto más alto de la pila cónica, el punto más bajo y un punto medio para obtener un promedio.

- En el punto más alto: 50 mm (Imagen 36).



Imagen 36. Revenimiento 1 de mezcla 30% agregados reciclados y 70% agregados naturales.

En el punto medio: 74 mm (Imagen 37).



Imagen 37. Revenimiento 2 de mezcla 30% agregados reciclados y 70% agregados naturales.

- En el punto más bajo: 86 mm (Imagen 38).



Imagen 38. Revenimiento 3 de mezcla 30% agregados reciclados y 70% agregados naturales.

Revenimiento promedio = 70.0 mm ó 7.0 cm.

El revenimiento obtenido fue menor que 125 mm por lo que puede ser considerado como un revenimiento normal.

4.7 Preparación de los cilindros de concreto.

Por lo regular, se mide la resistencia a la compresión para garantizar que el concreto de algún proyecto en específico, cumpla con los requerimientos solicitados y con el control de calidad. Para la realización de la prueba de resistencia a la compresión del concreto, se moldean especímenes cilíndricos de 150 x 300 mm (6" x 12") para el ensayo. Para la realización de los cilindros se realizaron los siguientes pasos.

Equipo utilizado:

- Molde metálico cilíndrico, con base y tapa.
- Cucharón
- Cuchara de albañil
- Varilla con punta redondeada (60cm de largo x 16 mm de diámetro).
- Aceite desmoldante
- Estopa
- Mazo de goma

Procedimiento

Después de calcular la dosificación de agregados y sus diferentes proporciones en el diseño de mezclas; y el revenimiento obtenido por cada una de ellas se utilizó un método muy similar al de la prueba de revenimiento.

1. Como primer paso o paso preliminar, se untan las paredes internas, incluyendo base y tapa, del molde cilíndrico metálico con aceite desmoldante, o bien, aceite quemado. Esto para que al desmoldar los cilindros, estos no se queden pegados.
2. Al igual que en la prueba de revenimiento, se vierte la mezcla dentro del molde hasta el primer cuarto y se sumerge la varilla 25 veces hasta el fondo del molde para lograr que se salgan las burbujas del interior de la mezcla.
3. Se llena el molde hasta la mitad de su capacidad y se hace el varillado repitiéndolo 25 veces, ésta vez sumergiendo la varilla hasta $\frac{1}{4}$ para acomodar los agregados y eliminar los poros existentes.
4. Se llena otra cuarta parte del molde llegando a $\frac{3}{4}$ del total de su capacidad y se repite el procedimiento de varillado, llegando a la mitad del molde.
5. Por último, se llena por completo el molde y se varilla hasta $\frac{3}{4}$ y se golpea levemente con el mazo de goma para sacar las burbujas restantes de todo el molde, así también como para acomodar la mezcla y poder colocar la tapa (Imagen 39).



Imagen 39. Llenado de molde metálico para elaboración de cilindro de concreto.

Una vez fraguada la mezcla de concreto de los cilindros, se procede a desmoldarlos, para proceder con el curado (Imagen 40 y 41).



Imagen 40. Desmolde de cilindros de concreto para su curado.



Imagen 41. Desmolde de cilindros de concreto para su curado.

4.8 Curado de los cilindros de concreto.

Una vez desmoldados todos los cilindros fraguados, se colocan dentro de recipientes llenos de agua hasta un nivel suficiente para cubrir por completo a los cilindros, para realizar el proceso de curado (Imagen 42).



Imagen 42. Recipiente con agua para curado de cilindros.

El proceso duró 28 días, edad a la que se ensayó la resistencia a la compresión de los cilindros (Imagen 43).



Imagen 43. Cilindros curados a la edad de 28 días.

Después de estar curados todos los cilindros, se cabecean con azufre para evitar desniveles en la base y la superficie.

4.9 Cabeceo de los cilindros de concreto

El cabeceo de cilindros se realiza para que al someterse a la prueba de resistencia a la compresión, la carga aplicada se distribuya sobre la base y la superficie de manera uniforme, ya que se nivelan ambas caras para crear una superficie de contacto plana y pareja. El cabeceo de cilindros se hace con azufre (Imagen 44).



Imagen 44. Cilindros cabeceados con azufre.

Después de haberse cabeceado los cilindros, se espera un tiempo estimado de dos horas para que el azufre alcance la temperatura y dureza óptimas para realizar el ensayo de resistencia a la compresión.

4.10 Pruebas de resistencia a la compresión de los cilindros de concreto

Los primeros cilindros a los que se les realizó la prueba de resistencia a la compresión fueron los hechos con 100% de agregados reciclados. Obteniendo los siguientes resultados (Tabla 38).

Tabla 38. Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros hechos con 100% de agregados reciclados.

Cilindros hechos con 100% de agregados reciclados			
Fecha de colado	f'c de diseño (kg/cm2)	Revenimiento obtenido (cm)	Edad en días
26/08/2015	150	7.4	28
Características de los cilindros			
No. Cilindro	1	2	3
Peso (gr)	10100	10300	10400
Diámetro (cm)	15.00	15.00	15.00
Altura (cm)	29.60	29.70	29.70
Área (cm2)	176.71	176.71	176.71
Resistencia a la compresión			
Carga de ruptura (kgf)	38000	38200	38200
Carga de ruptura (N)	372.4	374.36	374.36
Resistencia (Mpa)	21.13	21.24	21.24
Resistencia obtenida a la compresión (kg/cm2)	215.05	216.19	216.19
Resistencia determinada (% del f'c)	143.37	144.12	144.12

Los 3 cilindros hechos con 100% de agregados reciclados, cumplen fácilmente con el f'c de diseño, ya que el f'c promedio alcanzado fue de 215.81 kg/cm2.

Posteriormente, se ensayaron los 3 cilindros hechos con 50% de agregados reciclados y 50% de agregados naturales. Obteniendo el siguiente registro (Tabla 39).

Tabla 39. Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros hechos con 50% de agregados reciclados y 50% de agregados naturales.

Cilindros hechos con 50% de agregados reciclados y 50% de agregados naturales			
Fecha de colado	f'c de diseño (kg/cm ²)	Revenimiento obtenido (cm)	Edad en días
02/09/2015	150	6.6	28
Características de los cilindros			
No. Cilindro	1	2	3
Peso (gr)	10800	10900	10960
Diámetro (cm)	15.00	15.00	15.00
Altura (cm)	29.70	29.80	29.80
Área (cm ²)	176.71	176.71	176.71
Resistencia a la compresión			
Carga de ruptura (kgf)	27200	29400	37400
Carga de ruptura (N)	266.56	288.12	366.52
Resistencia (Mpa)	15.12	16.34	20.79
Resistencia obtenida a la compresión (kg/cm ²)	153.93	166.38	211.66
Resistencia determinada (% del f'c)			
	102.62	110.92	141.11

En estos cilindros también se alcanzó el f'c de diseño, incluso este se pasó por muy poco, obteniendo un promedio de 177.32 kg/cm².

Por último, se ensayaron los 3 cilindros hechos con 30% de agregados reciclados y 70% de agregados naturales. Registrando los siguientes datos (Tabla 40).

Tabla 40. Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros hechos con 30% de agregados reciclados y 70% de agregados naturales.

Cilindros hechos con 30% de agregados reciclados y 70% de agregados naturales			
Fecha de colado	f'c de diseño (kg/cm ²)	Revenimiento obtenido (cm)	Edad en días
02/09/2015	150	7.0	28
Características de los cilindros			
No. Cilindro	1	2	3
Peso (gr)	10960	11000	10980
Diámetro (cm)	15.00	15.00	15.00
Altura (cm)	29.90	29.80	29.90
Área (cm ²)	176.71	176.71	176.71
Resistencia a la compresión			
Carga de ruptura (kgf)	23800	26000	23400
Carga de ruptura (N)	233.24	254.8	229.32
Resistencia (Mpa)	15.12	16.34	20.79
Resistencia obtenida a la compresión (kg/cm ²)	134.69	147.14	132.43
Resistencia determinada (% del f'c)	89.79	98.09	88.29

El f'c de diseño para estos cilindros no se alcanzó por muy poco, ya que se obtuvo un f'c promedio de 139.75 kg/cm² (Imagen 45, 46 y 47).



Imagen 45. Prensa de rompimiento para medir la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto.



Imagen 46. Ensayo de prueba de resistencia a la compresión de los cilindros de concreto.



Imagen 47. Ensayo de prueba de resistencia a la compresión de los cilindros de concreto.

4.11 CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

¿Qué reporta la literatura como parámetros para comparar sus resultados? ¿Son adecuados para lo que quieren demostrar?

De los resultados obtenidos del diseño de mezclas de la normativa ACI, para la elaboración de cilindros de resistencia $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$, se llegó a la conclusión de utilizar 100% de agregados reciclados para la fabricación del mobiliario urbano propuesto (bolardos, bancas y postes para cestos de basura) resultando con una resistencia promedio de 215.81 kg/cm^2 bastante satisfactoria.

Como sugerencia se podría disminuir la cantidad de cemento utilizado para la elaboración de cilindros, ya que el uso de cemento utilizado para la fabricación de 1 m^3 de concreto es de 272 kg para agregados reciclados contra 263 kg de la dosificación de Cemex (CEMEX, 2012), teniendo un incremento de 9 kilogramos , lo cual viéndolo a mayor volumen es mayor el gasto.

Al realizar las pruebas de granulometría en agregados reciclados, se observó que al permanecer mucho tiempo en la máquina de tamizado, éstos generaban una gran cantidad de finos, debido a que los agregados se comienzan a moler a causa de las repetidas agitaciones, las cuales desprenden la pasta de cemento/mortero que queda adherida a los agregados reciclados. Debido a esta situación, el tamizado se realizará en un menor tiempo para no generar demasiados finos, o en su defecto, manualmente.

Para poder implementar la EBT, es necesario realizar concesiones con empresas tanto del sector público como del sector privado para que gestionen sus RCD a la planta de tratamiento y así poder contar con suficiente materia prima para procesar.

APÉNDICES

A. Listado de tablas

Tabla 1. Componentes existentes en cada tipo de actividad constructiva (Romero, 2006). ..	2
Tabla 2. Tasas de reciclado de distintos países europeos (ACHE, 2006)	13
Tabla 3 . Requisitos de granulometría del agregado reciclado para la fabricación de concreto para edificación según norma japonesa. (Kasai, 1994)	14
Tabla 4. Requisitos de granulometría del agregado reciclado para la fabricación de concreto para obra pública según norma japonesa. (Kasai, 1994)	14
Tabla 5. Husos granulométricos para el agregado reciclado según norma belga. (Vincke y Rousseau, 1994)	14
Tabla 6. Especificaciones Internacionales para los distintos tipos de agregados reciclados (ACHE, 2006).....	16
Tabla 7. Especificaciones Internacionales para los distintos tipos de agregados reciclados (ACHE, 2006).....	17
Tabla 8. Clasificación y especificaciones del concreto reciclado. (Rilem, 1994)	18
Tabla 9. Clasificación del concreto reciclado según norma (DIN 4223).	19
Tabla 10. Clasificación de los materiales constituyentes del agregado reciclado (prEN 933-11).....	19
Tabla 11. Materias primas utilizadas en la construcción (Romero, 2006).	22
Tabla 12. Composición RCD (Romero, 2006).	23
Tabla 13. Densidad y contenido de aire de los concretos preparados con agregados reciclados y naturales.(Cruz y Velazquez, 2004)	27
Tabla 14. Efectos de sustancias encontradas en el concreto reciclado (Cruz y Velazquez, 2004).....	31
Tabla 15. Características mecánicas de trituradora de impacto móvil sobre oruga.	35
Tabla 16. Análisis granulométrico de agregados finos naturales.	55
Tabla 17. Análisis granulométrico de agregados gruesos naturales.	57
Tabla 18. Contenido de humedad en finos provenientes de Concretos Reciclados.	61

Tabla 19. Análisis granulométrico de agregados finos provenientes de Concretos Reciclados.....	62
Tabla 20. Análisis granulométrico de agregados gruesos provenientes de Concretos Reciclados.....	64
Tabla 21. Separación de agregados finos y agregados gruesos	75
Tabla 22. Retiro de grava para completar muestra representativa de 50 Kg.....	76
Tabla 23. Contenido de humedad de finos provenientes del Concreto triturado in situ.....	76
Tabla 24. Análisis granulométrico de agregados finos provenientes del concreto demolido in situ.	79
Tabla 25. Análisis granulométrico de agregados gruesos provenientes del concreto reciclado in situ.....	82
Tabla 26. Contenido de humedad de agregados finos provenientes del Bordo Poniente.....	86
Tabla 27. Análisis granulométrico de agregados finos provenientes del Bordo Poniente. ..	87
Tabla 28. Análisis granulométrico de agregados gruesos provenientes del Bordo Poniente.	90
Tabla 29. Variabilidad de la resistencia del concreto.....	91
Tabla 30. Cantidad aproximada de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de los agregados.....	92
Tabla 31. Volumen aparente del agregado grueso.	94
Tabla 32. Cantidades de elementos para la fabricación de 1 m ³ de concreto.	95
Tabla 33. Cantidades de elementos para la fabricación de 3 cilindros de concreto con agregados reciclados.....	96
Tabla 34. Cantidades de elementos para la fabricación de 3 cilindros de concreto con agregados reciclados al 50%.....	96
Tabla 35. Cantidades de elementos para la fabricación de 3 cilindros de concreto con agregados naturales al 50%.	99
Tabla 36. Cantidades de elementos para la fabricación de 3 cilindros de concreto con agregados reciclados al 30%.....	99
Tabla 37. Cantidades de elementos para la fabricación de 3 cilindros de concreto con agregados naturales al 70%. ³⁷	100
Tabla 38. Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros hechos con 100% de agregados reciclados.....	113

Tabla 39. Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros hechos con 50% de agregados reciclados y 50% de agregados naturales. 114

Tabla 40. Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros hechos con 30% de agregados reciclados y 70% de agregados naturales. 115

B. Índice de figuras e imágenes

Figura 1. Fundamento legal del PM-RCD (CMIC, 2013)..... 20

Figura 2. Bolardo de concreto reciclado..... 40

Figura 3. Banca de concreto. 41

Figura 4. Poste de concreto reciclado para cesto de basura..... 42

Figura 5. Curva granulométrica de agregados naturales finos 56

Figura 6. Curva Granulométrica de agregados naturales gruesos. 57

Figura 7. Curva granulométrica de agregados finos procedentes de Concretos Reciclados.62

Figura 8. Curva granulométrica de agregados gruesos procedentes de Concretos Reciclados.
..... 65

Figura 9. Curva granulométrica de agregados finos triturados in situ..... 79

Figura 10. Curva granulométrica de agregados gruesos triturados in situ. 82

Figura 11. Curva granulométrica de agregados finos procedentes del Bordo Poniente..... 88

Figura 12. Curva granulométrica de agregados gruesos procedentes del Bordo Poniente... 90

Figura 13. Relación agua/cemento (propiedades del concreto A. M. Neville) 93

Figura 14. Formas que adopta la mezcla en las pruebas de revenimiento (IMCYC, 1989).
..... 101

Imagen 1. Planta de Concretos Reciclados. (Disponible en:
<http://concretosreciclados.com.mx/es/proceso.php>Planta de Concretos Reciclados..... 11

Imagen 2. Bordo poniente. Disponible en:
<http://www.agu.df.gob.mx/sintesis/index.php/biogas-del-bordo-poniente/>..... 12

Imagen 3. Concreto demolido.(Disponible en: <http://www.eccoarquitectura.arq.br/concreto-reciclado-economia-na-construcao-civil/>)..... 24

Imagen 4. Trituradora de impacto móvil sobre orugas..... 35

Imagen 5. Residuos encontrados en la muestra proveniente de Concretos Reciclados. 59

Imagen 6. Cuarteo de muestra proveniente de Concretos Reciclados..... 60

Imagen 7. Cuarteo de muestra proveniente de Concretos Reciclados..... 60

Imagen 8. Cuarteo de muestra de finos proveniente de Concretos Reciclados..... 61

Imagen 9. Cuarteo de muestra de gruesos proveniente de Concretos Reciclados.....	63
Imagen 10. Agitador mecánico tamizando muestras.....	64
Imagen 11. Residuos encontrados en la muestra de concreto triturado in situ.	74
Imagen 12. Reducción de muestra proveniente de concreto triturado in situ.....	74
Imagen 13. Cuarteo de muestra proveniente de concreto triturado in situ.	75
Imagen 14. Lona para realizar cuarteo de muestras.	77
Imagen 15. Cuarteo de agregados finos provenientes de concreto triturado in situ.....	77
Imagen 16. Cuarteo de agregados finos provenientes de concreto triturado in situ.....	78
Imagen 17. Tamizado de finos para análisis granulométrico.	78
Imagen 18. Cuarteo de agregados gruesos para análisis granulométrico	80
Imagen 19. Cuarteo de agregados gruesos para análisis granulométrico.	81
Imagen 20. Tamizado de agregados gruesos provenientes de concreto triturado in situ en agitador mecánico.....	81
Imagen 21. Residuos encontrados en la muestra proveniente de Bordo Poniente.	84
Imagen 22. Revisión de muestra proveniente de Bordo Poniente.....	85
Imagen 23. Reducción de muestra proveniente de concreto Reciclados.....	85
Imagen 24. Reducción de muestra proveniente de concreto Reciclados.....	86
Imagen 25. Muestra de agregado grueso proveniente de Bordo Poniente para análisis granulométrico.....	89
Imagen 26. Tamizado de muestra de agregados gruesos proveniente de Bordo ponientoe para análisis granulométrico.....	89
Imagen 27. Mezcla hecha para prueba de revenimiento.	103
Imagen 28. Varillado de mezcla para eliminación de vacíos.	103
Imagen 29. Retiro de cono de Abrams para medir revenimiento de mezcla.....	103
Imagen 30. Revenimiento 1 de mezcla 100% agregados reciclados.....	104
Imagen 31. Revenimiento 2 de mezcla 100% agregados reciclados.....	104
Imagen 32. Revenimiento 3 de mezcla 100% agregados reciclados.....	105
Imagen 33. Revenimiento 1 de mezcla 50% agregados reciclados y 50% agregados naturales.....	105
Imagen 34. Revenimiento 2 de mezcla 50% agregados reciclados y 50% agregados naturales.....	106

Imagen 35. Revenimiento 3 de mezcla 50% agregados reciclados y 50% agregados naturales.....	106
Imagen 36. Revenimiento 1 de mezcla 30% agregados reciclados y 70% agregados naturales.....	107
Imagen 37. Revenimiento 2 de mezcla 30% agregados reciclados y 70% agregados naturales.....	107
Imagen 38. Revenimiento 3 de mezcla 30% agregados reciclados y 70% agregados naturales.....	108
Imagen 39. Llenado de molde metálico para elaboración de cilindro de concreto.	109
Imagen 40. Desmolde de cilindros de concreto para su curado.	110
Imagen 41. Desmolde de cilindros de concreto para su curado.	110
Imagen 42. Recipiente con agua para curado de cilindros.	111
Imagen 43. Cilindros curados a la edad de 28 días.	111
Imagen 44. Cilindros cabeceados con azufre.	112
Imagen 45. Prensa de rompimiento para medir la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto.....	115
Imagen 46. Ensayo de prueba de resistencia a la compresión de los cilindros de concreto.	116
Imagen 47. Ensayo de prueba de resistencia a la compresión de los cilindros de concreto.	116

C. Índice de términos

ACI: American Concrete Institute

Agregados: Están compuestos por material geológico tales como rocas, arenas, gravas, y son usados en diferentes segmentos de la construcción. Pueden ser finos o gruesos.

Álcalis: Óxidos, hidróxidos y carbonatos de los metales alcalinos.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

CEMEX: Cementos Mexicanos.

Cradle to cradle: De la Cuna a la cuna.

Cribado: Pasar una materia por un tamiz para separar las partes finas y las gruesas o para limpiarla de impurezas

Disgregación: Separación, desunión de las partes integrantes de una cosa.

Escoria: Material residual de un alto horno empleado como capa en la construcción de cubiertas.

Feldespatos: Minerales primarios más abundantes de la corteza terrestre.

Granel: Se aplica al producto que se vende sin empaquetar o envasar.

Homogeneización: Mezclar de manera uniforme y a escala microscópica 2 o más productos.

Husos: Líneas delimitadoras o límites.

ISO: International Standardization Organization (Organización Internacional de Normalización).

Kw/Hr: Kilowatts por hora.

Mampostería: Es aquella construcción en la cual sus unidades se han puesto a mano (mampuesto).

MJ: Mega Joules.

RCD: Residuos de Construcción y Demolición.

Sostenible: La capacidad del entorno de asumir la presión humana de manera que sus recursos naturales no se degraden irreversiblemente.

Tamiz: malla metálica constituida por barras tejidas y que dejan un espacio entre sí por donde se hace pasar las partículas de agregado.

Trituración: Reducir el tamaño de los trozos del mineral haciéndolos pasar a través de quebrantadoras y molinos.

Vertederos: Lugar donde se vierte basuras, residuos o escombros, generalmente situado a las afueras de una población.

Zeolitas: Mineral que pertenece al grupo de los aluminosilicatos básicamente hidratados del Na, K, Ca, en los cuales el agua se sostiene en las cavidades de los enrejados.

LITERATURA CITADA

Alajeos P. et al.. (2006). Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural. Madrid, España: Improvint, s.I.

ASTM-C-33-2001 STANDARD SPECIFICATIONS FOR CONCRETE AGGREGATES

Bossink, B., Brouwers, H., “Construction Waste: Quantification and Source Evaluation “, Journal of Construction Engineering and Management 122, 1, (1996): pp. 55 – 60.

BS 8500-2:2002: “Concrete-Complementary British Standard to BS EN 206-1. Part 2: Specification for Constituent Materials and Concrete”.

Bueno, E. (1998). El capital intangible como clave estratégica en la competencia actual. Boletín de Estudios Económicos, 164, 207-229.

Camisión, C. (2002). Las competencias distintivas basadas en activos intangibles. En P. Morcillo y J. Fernández (Eds.). Nuevas claves para la dirección estratégica (pp. 117-151). Barcelona: Ariel Economía.

Chan J., et. al. (2003), “Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto”, Yucatán, México, pp. 39-46.

CIB, “Agenda 21 sobre Construcción Sustentable”, Informe CIB Publicación 237, Julio, (2000).

Cruz J. & Velázquez R.. (2004). Concreto Reciclado. México, DF.: ESIA

David Santos, Augusto García. (2011). IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS GENERADOS POR LOS RCD. En Gestión de residuos en las obras de construcción y demolición, pag: 36 y 37. Madrid, ESPAÑA: Tornapunta Ediciones, S.L.U.

European Demolition Association (EDA). “Demolition and Construction Debris: Questionnaire about an EC Priority Waste Stream”. The Hague, 1992.

García Landa Carlos. (2009). Características mecánicas de concretos reciclados fabricados con desechos sólidos de construcción. Xalapa, Veracruz. Universidad Veracruzana.

Garvin, D. (1998). Building a learning organizations. Harvard Business Review, 78-91.

Grant, R. M. (1991). The resource-based theory of competitive advantages: Implications for strategy formulation. California Management Review, 114-135.

Hong Kong: “Specifications Facilitating the Use of Recycled Aggregates”. Works Bureau Technical Circular 12/2002.

http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/granulometria.pdf

Kasai, Y: “Guidelines and the Present State of the Reuse of Demolished Concrete in Japan”. *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry. Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First Edition. pp. 93-104, 1994.*

Kibert, C., “Deconstruction as an Essential Component of Sustainable Construction”, *Proceedings International Conference Sustainable Building 2000 (ed. by C. Boonstra, S. Pauwels and R. Rovers), October 22 – 25, Maastricht, Holanda, (2000): pp. 89 – 91.*

Kobayashi, S.; Kawano, H.: “Properties and Usage of Recycled Aggregate Concrete”. *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Vol. 2. Reuse of Demolition Waste, Proceedings of the second international RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, November 1988, Japan; Ed. Y. Kasai, p.p. 547-556, Noviembre 1988.*

Little, A. D. (1997). *New Technology-Based Firms in the United Kingdom and the Federal Republic of Germany. London: Wilton House.*

McCormac, J. (2011), “Diseño de concreto reforzado”, Editado por Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V. México, D.F., pp. 1-6.

Mukai, T., kikuchi, M.; “Properties of Reinforced Concrete Beams Constining Recycled Aggregate”; *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Vol. 2 Reuse of Demolition Waste, Proceedings of the Second International RILEM Symposium; Ed. Y. Kasai; pp 670-679, Noviembre 1988, ISBN 0-412-32110-6.*

Mukesh Limbachiya (Kingston University, United Kingdom). *Construction and Demolition Waste Recycling for Reuse as Aggregate in Concrete Production. Kingston University. Day Group Open Day. 15 April 2003.*

Mukesh Limbachiya (Kingston University, United Kingdom). *Construction and Demolition Waste Recycling for Reuse as Aggregate in Concrete Production. Kingston University. Day Group Open Day. 15 April 2003.*

Neville, A. (1999), “Tecnología del concreto”, IMCYC, México, p. 163.

Nixon, P. J.; “Recycled Concrete as an aggregate for Concrete: A Review”; *Materials and Structures Vol 11, N°65, pp 371-378, 1978.*

NMX-C-251-1997-ONNCCE INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – CONCRETO – TERMINOLOGÍA.

Nonaka, I. and Takeuchi, H. (1995). The knowledge-creating company. Oxford: Oxford University Press.

NORMA MEXICANA NMX-C-111-ONNCCE-2004. (Esta norma cancela y sustituye a la NMX-C-111-1988).

Parker, H. (1971), “Diseño simplificado de concreto reforzado”, Editado por Editorial Limusa-Wiley S.A., México, D.F., pp. 1-43.

RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures): “Specifications for Concrete with Recycled Aggregates”. Materials and Structures, N°27. p.p. 557-559, 1994.

RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures): “Recycled Aggregates and Recycled Aggregates Concrete”. Recycling of Demolished Concrete and Masonry. RILEM Report 6, Edited by Hasen, T.C., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First Edition, 1992.

Rubble Master, 2013. RM 70GO! La trituradora para los que empiezan. Máxima movilidad, operación intuitiva. <http://www.rubblemaster.com/es/products/crushers-brecher/crusher-brecher-rm-70-go/>

Salvany J.. (2012). Gestión de Residuos de la Construcción y Demolición (RCD). agosto 20, 2015, de Secretaria Distrital de Ambiente, Gobierno, Seguridad y Convivencia Sitio web: http://ambientebogota.gov.co/en/c/document_library/get_file?uuid=ea76f091-514a-4f99-b95c-2b25e6b357b9&groupId=664482

Sanchez de Juan, M; ”Estudios sobre la utilización de Árido Reciclado en hormigón estructural”. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 2005.

SESMA. (2001). Página Oficial del Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente. 2015, de sesma Sitio web: <http://www.sesma.cl>.

Shearman, C. and Burrell, G. (1988). New technology-based firms and the emergence of new industries: Some employment implications. New Technology, Work and Employment, 3 (2), 87-99.

Suárez Salazar Carlos Javier “Costo y tiempo en edificación”. 3a. Ed. Limusa, México, 2006.

Vincke, J.; Rousseau, E.: “Recycling of Construction and Demolition Waste in Belgium: Actual Situation and Future Evolution”. Demolition and Reuse of Concrete and Masonry,

*Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K.,
Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First Edition 1994. pp.
57-69.*

*Winter, G. (1986), "Proyecto de estructuras de hormigón", Editado por Editorial Reverté
S.A. de C.V., Barcelona, España, pp. 1-31.*

ANEXOS



L A C C Y A

LABORATORIO DE CONCRETOS COMPACTACIONES Y ASFALTOS
ABRAHAM CAMARGO MERA
 Prof. Donatiano Serna Leal No. 207, Col. Favisste, Pachuca, Hgo., Tel - 771-71-88-35



RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

APLICANDO: NMX-C-161-1997-ONNCE "CONCRETO FRESCO - MUESTREO", NMX-C-156-ONNCE-2010 "CONCRETO HIDRAULICO - DETERMINACIÓN DEL REVENIMIENTO EN EL CONCRETO FRESCO", NMX-C-109-ONNCE-2010 "CONCRETO HIDRAULICO - DETERMINACIÓN DEL CABECEO DE ESPECIMENES", NMX-C-083-ONNCE-2002 "DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO"

HOJA 3 DE 3

PARA: DOCTORA YAMIL RANGEL

OBRA:

HORA DE LLEGADA CONCRETO	HORA DE DESCARGA EN OBRA	CONCRETERA	DATOS DEL PROYECTO					FECHA DE INFORME:				23-sep-15	
			TAMAÑO MAX. (mm)	REV. DE PROYECTO (cm)	REV. OBTENIDO (cm)	No. DE REMISION	TIPO DE CONCRETO	TEMPERATURA AMBIENTE(°C)	ENSAYE No.	VOLUMEN EN (m³)	FECHA DE COLADO		
			150		7.0		NORMAL			///	1		26/08/2015
RESISTENCIA A LA COMPRESION													
No. DE CILINDRO	ELEMENTO	CARACTERISTICAS DEL CILINDRO					RESISTENCIA A LA COMPRESION						
		EDAD EN DIAS	PESO (kg)	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA DE RUPTURA EN (kgf)	RESISTENCIA A (Mpa)	RESISTENCIA OBTENIDA A LA COMPRESION (kg/cm²)	RESISTENCIA DETERMINADA (% DEL f'c)			
1	100 % AGREGADOS RECICLADOS	28	10100	15.0	29.6	176.7	38000	372.40	21.13	215.05	143.37		
2		28	10300	15.0	29.7	176.7	38200	374.36	21.24	216.19	144.12		
3		28	10400	15.0	29.7	176.7	38200	374.36	21.24	216.19	144.12		

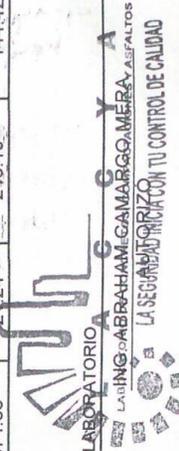
OBSERVACIONES: ESTOS SON LOS RESULTADOS OBTENIDOS A LA EDAD DE 28 DÍAS.

CELDA CANCELADA

* ESTE REPORTE NO PODRÁ SER ALTERADO NI REPRODUCIDO PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACIÓN PREVIA DE ESTE LABORATORIO

C. JUVENAL GONZALEZ G.
SUPERVISOR

C. J. DANIEL CAMARGO ROSALES
ELABORO





L A C C Y A

LABORATORIO DE CONCRETOS COMPACTACIONES Y ASFALTOS
ABRAHAM CAMARGO MERA
 Prof. Donaciano Serna Leal No. 207, Col. Fovissste, Pachuca, Hgo., Tel - 771-71-1-88-35



RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

APLICANDO: NMX-C-161-1997-ONNCC "CONCRETO FRESCO - MUESTREO", NMX-C-156-ONNCC-2010 "CONCRETO HIDRAULICO - DETERMINACION DEL REVENIMIENTO EN EL CONCRETO FRESCO", NMX-C-109-ONNCC-2010 "CONCRETO HIDRAULICO - DETERMINACION DEL CABECEO DE ESPECIMENES", NMX-C-083-ONNCC-2002 "DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO"

HOJA 2 DE 3

PARA: DOCTORA YAMIL RANGEL		DATOS DEL PROYECTO										FECHA DE INFORME:		30-sep-15						
OBRA:		TAMAÑO MAX. (mm)		REV. DE PROYECTO (cm)		REV. OBTENIDO (cm)		No. DE REMISION		TIPO DE CONCRETO		TEMPERATURA AMBIENTE (°C)		ENSAYE No.		VOLUMEN EN (m³)		FECHA DE COLADO		
		f'c DISEÑO (kg/cm²)				8.0				NORMAL		///		2				02/09/2015		
		CARACTERISTICAS DEL CILINDRO																		
		EDAD EN DIAS			PESO (kg)		DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		AREA (cm²)		CARGA DE RUPTURA EN (kgf)		RESISTENCIA A (Mpa)		RESISTENCIA OBTENIDA A LA COMPRESION (kg/cm²)		RESISTENCIA DETERMINADA (% DEL f'c)	
No. DE CILINDRO		ELEMENTO																		
1		50 % AGREGADOS RECICLADOS Y 50 % NATURALES			10800		15.0		29.7		176.7		27200		15.12		153.93		102.62	
2					10900		15.0		29.8		176.7		29400		16.34		166.38		110.92	
3					10960		15.0		29.8		176.7		37400		20.79		211.66		141.11	
		OBSERVACIONES: ESTOS SON LOS RESULTADOS OBTENIDOS A LA EDAD DE 28 DIAS.																		
		[] CELDAS CANCELADAS																		
		* ESTE REPORTE NO PODRÁ SER ALTERADO NI REPRODUCIDO PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACION PREVIA DE ESTE LABORATORIO																		
		C. JUVENAL GONZALEZ G. SUPERVISOR																		
		C. J. DANIEL CAMARGO ROSALES ELABORO																		
		LABORATORIO DE ABRAHAM CAMARGO MERA S. DE C. V. A. LA SEGURIDAD Y CONTROL DE CALIDAD																		

