

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería.

Comparativa del comportamiento del cortante de vigas de
concreto con agregado normal, agregado reciclado y con
adición de humo de sílice.

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias (Estructuras)

Presenta

Ing. Juan José Estrada Guerrero.

Santiago de Querétaro, Qro, Mayo del 2012.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería.
Maestría en Ciencias (Estructuras)

Comparativa del comportamiento del cortante de vigas de concreto con agregado normal, agregado reciclado, y con adición de humo de sílice.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias (Estructuras)

Presenta:


Ing. Juan José Estrada Guerrero.

Dirigido por:

Ph. D. Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández.

SINODALES


Ph. D. Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández
Presidente


Firma

Dr. Guadalupe Moisés Arroyo Contreras.
Secretario


Firma

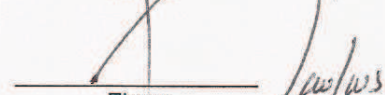
Dr. José Luis Reyes Araiza.
Vocal

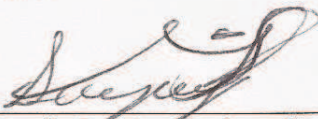

Firma

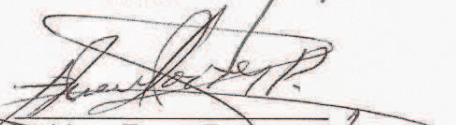
Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza.
Suplente


Firma

M en I. Gerardo René Serrano.
Suplente


Firma


Dr. Aurelio Domínguez González.
Director de la Facultad


Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y
Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Mayo del 2012
México

RESUMEN

Una de las medidas que se ha empleado recientemente para disminuir los efectos perjudiciales sobre los recursos no renovables y para preservar al medio ambiente, ha sido el reutilizar los materiales de la construcción. Si bien en los estudios actuales sobre concreto reciclado con sustitución parcial de agregados prometen un camino factible para su práctica, un ahorro de energía, mejoras medio ambientales y soluciones para los millones de toneladas de desechos producidos por demoliciones de construcciones, aún faltan estudios sobre el comportamiento del concreto reciclado para determinar sus propiedades mecánicas, y dar una certidumbre en su uso, sobre todo en miembros estructurales. La influencia del humo de sílice en concretos convencionales, es principalmente en su durabilidad, trabajabilidad y su resistencia lo hacen candidato para varias aplicaciones específicas. En este trabajo se presenta una comparación del comportamiento del cortante en vigas sobre-reforzadas hechas con concreto natural, concreto reciclado (sustitución del 100% del agregado grueso) y un concreto reciclado mejorado con humo de sílice, así como una comparación de las propiedades mecánicas. Se estudiaron las características en estado fresco y en estado endurecido de cada uno de los concretos tales como: revenimiento, peso volumétrico fresco, esfuerzo a compresión, módulo de ruptura y fuerza cortante, dando como resultado que el escombros producto de la demolición de estructuras de concreto es un buen sustituto del agregado grueso para la elaboración de un nuevo concreto.

(Palabras clave: agregado reciclado, concreto reciclado, humo de sílice, propiedades mecánicas, fuerza cortante)

SUMMARY

One of the actions that have been used recently to reduce the harmful effects on non-renewable resources and to preserve the environment has been the reuse of construction materials. Although current studies on recycled concrete aggregates partially replaced promise a feasible way to practice, energy savings, environmental improvements and solutions for the millions of tons of waste produced by demolition of buildings are not many studies on the behavior of recycled concrete to determine its mechanical properties, and provide certainty in its use, especially in structural members. The influence of silica fume in conventional concrete, is primarily in their durability, workability and strength make it candidate for various specific applications. This paper presents a comparison of the behavior of shear in beams made with normal concrete, recycled concrete (100% replacement of coarse aggregate) and a recycled concrete enhanced with silica fume, and a comparison of mechanical properties. Characteristics were studied in fresh and hardened state of each of the concrete such as workability, fresh volumetric weight, compressive stress, modulus of rupture and shear, resulting in the rubble from the demolition of product structures concrete is a good substitute for coarse aggregate for the development of a new concrete.

(Keywords: recycled aggregate, recycled concrete, silica fume, mechanical properties, shear)

A mis padres y a mis hermanos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a dios que me ha heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo "sus padres". A mis padres quienes sin escatimar esfuerzo alguno sacrificaron gran parte de su vida para educarme. A mis hermanos quienes la ilusión de su vida ha sido verme convertido en un hombre de provecho.

A mi director de tesis Ph.D. Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández por su continuo apoyo en la elaboración de esta tesis, al Dr. José Luis Reyes Araiza por su colaboración en la instrumentación de las pruebas a cortante y consejos dados durante la elaboración de esta tesis, a los doctores Juan Bosco Hernández Zaragoza y Moisés Arroyo Contreras, así como al M en I. Gerardo René Serrano por sus correcciones finales de esta tesis.

Al CONACYT por haberme ayudado económicamente para seguir con mi formación como ser humano y profesional. También se agradece al CONACYT por el apoyo del Proyecto de Ciencias Básicas 104860 "Caracterización mecánica y físico química de materiales polifásicos basados en cal, utilizados en construcciones prehispánicas y coloniales" para la obtención de materiales para elaboración de mezclas y de elaboración de tarjeta electrónica, así como de becas de ayudantes de proyecto: Francisco Javier Jaen Cuellar y Ever Sánchez Palma.

A los trabajadores del laboratorio de Suelos y Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UAQ por su ayuda desinteresada a la hora de realizar los ensayos requeridos para esta tesis.

A los compañeros de automatización, quienes apoyaron en la realización del programa para la obtención de datos para la prueba de flexión en las vigas.

A todos mis compañeros de la Maestría en Ciencias por su amistad y apoyo moral mostrado a lo largo de estos años.

ÍNDICE

RESUMEN	i
SUMMARY	ii
DEDICATORIAS	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Hipótesis	3
1.3 Objetivos	3
1.4 Desarrollo de tesis.	3
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Antecedentes.	5
2.2 Proceso de producción de los agregados reciclados (residuos de concreto).	8
2.3 Distintas Normativas sobre agregados reciclados.	10
2.3.1 Normativa en USA:	10
2.3.2 Normativa en Japón.	11
2.3.3 Normativa en Australia.	11
2.3.4 Normativa en Alemania.	12
2.3.5 Normatividad en el Reino Unido.	12
2.3.6 Normativa en España.	13
2.3.7 Normativa en Brasil	15
2.3.8 Normativa en México	16
2.4 Aditivos.	17
2.4.1 Humo de sílice. (ACI 234R)	19
2.5 Fuerza cortante	19
2.5.1 Comportamiento y modos de falla.	20

2.5.2 Elementos sin refuerzo en el alma. (secciones rectangulares)	21
CAPÍTULO III: MATERIALES, EQUIPOS Y DESARROLLO	24
EXPERIMENTAL.	
3.1.- Materiales.	24
3.1.1 Agregado fino.	24
3.1.2 Agregado grueso natural.	26
3.1.3 Agregado grueso reciclado.	28
3.1.4 Cemento Portland Compuesto (CPC 30R.)	30
3.1.5 Cemento Blanco CPC 30B	32
3.1.6 Acero.	33
3.1.7 Sikacrete-950 DP.	33
3.1.8. Sikamet 410.	34
3.1.9 Agua.	36
3.2 Equipos.	37
3.2.1 Revenimiento.- Cono de Abrams (NMX-C-156-ONNCCE)	37
3.2.2 Máquina Universal	38
3.2.3 Marco de carga.	39
3.3 Desarrollo experimental.	40
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	51
4.1 Propiedades en estado fresco.	51
4.1.1 Diseño de mezclas y Revenimiento.	51
4.1.2 Peso volumétrico fresco.	52
4.2 Propiedades en estado endurecido.	53
4.2.1 Resistencia a la compresión.	53
4.2.2 Resistencia a la flexión (módulo de ruptura).	58
4.2.3 Ensaye de las vigas a cortante mediante ensaye a flexión.	59
4.2.3.1 Vigas a flexión.	59
4.2.3.2 Vigas a cortante.	66
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.	68
5.1 De los materiales y procedimientos de preparación.	68

5.2 Propiedades en estado fresco.	68
5.3 Propiedades en estado endurecido.	69
5.4 Patrón de grietas en vigas.	69
5.5 Resistencia a cortante en vigas.	70
5.6 Futuras líneas de investigación.	70
BIBLIOGRAFÍA.	71
APÉNDICE.	77
I. Granulometría para la arena. (Norma ASTN C33).	77
II. Densidad y Absorción de la arena. (Norma ASTN C128).	80
III. Determinación del peso volumétrico suelto y compacto de la arena. (Norma ASTN C29).	82
IV. Granulometría para la grava y del agregado reciclado. (Norma ASTM C33).	85
V. Densidad y Absorción de la grava y del agregado reciclado. (Norma ASTM C127).	88
VI. Determinación del peso volumétrico suelto y compacto de la grava y del agregado reciclado. (Norma ASTN C29).	90
VII. Proporcionamiento de mezclas.	92
VIII. Resultados de la Prueba de compresión.	98
IX. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto (módulo de ruptura).	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
3.1	Granulometría de la arena.	25
3.2	Requerimientos de granulometría para agregados finos (ASTM C33).	25
3.3	Granulometría de la grava.	27
3.4	Requerimientos de granulometría para los agregados gruesos (ASTM C33)	27
3.5	Granulometría del agregado reciclado.	28
3.6	Resistencia a la compresión del cemento tolteca CPC30R y CPO de acuerdo a Cemex(www.cemexmexico.com/ce/ficha30_2.html).	30
3.7	Componentes de los concretos.	46
4.1	Proporcionamiento de mezclas y revenimiento.	52
4.2	Peso volumétrico en estado fresco del concreto.	52
4.3	Módulo de ruptura.	58
4.4	Resistencia a flexión de las vigas.	66
4.5	Resistencia a cortante de las vigas.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	La fuerza cortante es la resultante de todas las fuerzas verticales que actúan en la viga en una sección considerada, manteniendo el equilibrio en la sección $V=RL-W1-W2-W3$.	19
2.2	Trayectorias de esfuerzos en una viga rectangular homogénea.	20
2.3	Representación esquemática de los diferentes tipos de falla en elementos en los que predomina la fuerza cortante.	21
3.1	Arena.	24
3.2	Grava.	26
3.3	Agregado grueso reciclado.	28
3.4	Cemento tolteca extra.	30
3.5	Cemento blanco CPC 30B Moctezuma	32
3.6	Acero.	33
3.7	Agua.	36
3.8	Características del cono de Abrams.	37
3.9	Maquina universal de 120 toneladas.	38
3.10	Marco de carga.	39
3.11	Geometría de las vigas.	39
3.12	Diagrama de flujo del Desarrollo experimental.	41
3.13	Pruebas de granulometría, peso volumétrico, absorción y densidad de la arena.	42
3.14	Pruebas de granulometría, peso volumétrico, absorción y densidad de la grava.	42
3.15	Elaboración de concreto normal.	43
3.16	Obtención del agregado reciclado.	44
3.17	Pruebas de granulometría, peso volumétrico, absorción y densidad del agregado reciclado.	45
3.18	Elaboración del concreto reciclado.	45
3.19	Elaboración del concreto reciclado mejorado.	46

3.20	Prueba de revenimiento en campo.	47
3.21	Peso volumétrico en estado fresco.	47
3.22	Prueba de compresión.	48
3.23	Prueba módulo de rotura.	49
3.24	Prueba a flexión en vigas.	50
4.1	Desviación estándar de los especímenes de las mezclas de CN.	53
4.2	Resistencia a compresión del concreto natural.	54
4.3	Desviación estándar de los especímenes de las mezclas de CR.	55
4.4	Resistencia a compresión del CR.	55
4.5	Desviación estándar de los especímenes de las mezclas de CRM.	56
4.6	Resistencia a compresión del CRM.	56
4.7	Resistencia a compresión de los concretos.	57
4.8	Gráfica Carga–Deflexión CN3.	59
4.9	Patrón de grietas de la viga CN3.	60
4.10	Gráfica Carga–Deflexión CR.	60
4.11	Patrón de grietas de la viga CR1.	61
4.12	Patrón de grietas de la viga CR2.	61
4.13	Patrón de grietas de la viga CR3.	61
4.14	Gráfica Carga–Deflexión CRM1.	62
4.15	Patrón de grietas de la viga CRM1.	62
4.16	Patrón de grietas de la viga CRM2.	63
4.17	Patrón de grietas de la viga CRM3.	63
4.18	Gráfica Carga-Deformación del CN y CR.	64
4.19	Gráfica Carga-Deformación del CN y CRM.	64
4.20	Gráfica Carga-Deformación del CR y CRM.	65
4.21	Gráfica de fuerza cortante.	67

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

1.1 Antecedentes

En la actualidad el concepto de sustentabilidad está adquiriendo mayor importancia a nivel mundial, lo que afecta directamente a la industria de la construcción ya que las actividades y procesos utilizados en las construcciones implican consecuencias perjudiciales y en algunos casos irreversibles sobre el medio ambiente. (Cortinas de Nava, 2004)

Una de las medidas que ha empleado recientemente para disminuir los efectos perjudiciales sobre los recursos no renovables como la madera y para preservar al medio ambiente, ha sido el reutilizar los materiales que ya se han empleado en la construcción, por medio de procedimientos de reciclaje. (Cortinas de Nava, 2004)

Considerándose residuos de construcción y demolición 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. (Cortinas de Nava, 2004)

Al año se generan 900 millones de toneladas de desperdicio de construcción y demolición en el mundo, según datos de la Iniciativa para el Cemento Sustentable. Las naciones que desechan las mayores cantidades de concreto son Estados Unidos, Japón y algunos países de Europa. El Reino Unido

es el país que utiliza más concreto reciclado. La mayoría de ese material se usa para infraestructura, como la construcción de los recintos para los Juegos Olímpicos de Londres en 2012. Otro país que le da uso a sus materiales de residuo es Japón. La nación asiática fabrica concreto con los desperdicios de la construcción de su red carretera. En Estados Unidos, Alemania, Australia, Bélgica, Holanda y los Emiratos Árabes Unidos también se aplican técnicas de recuperación de desperdicios de construcción. (Nora Vasconcelos, 2010).

En el 2007 cerca del 86% de los residuos sólidos urbanos del DF se depositan en los rellenos sanitarios, que son instalaciones en las que se aplican una serie de medidas para disminuir los efectos contaminantes de la concentración de desperdicios. Sin embargo, sucede que el único relleno sanitario con el que contaba la Ciudad de México era el Bordo Poniente, ya que los de Santa Catarina y San Juan de Aragón fueron clausurados por llegar a su límite de espacio. Afortunadamente, la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal promulgó en julio de 2006 la Norma Oficial para la Clasificación y Especificación del Manejo de los Residuos de la Construcción, la cual constituye un ordenamiento lógico y racional que involucra a todos aquellos que participan en esta cadena productiva. De esta forma, se da el primero de muchos pasos tendientes a resolver un problema que amenaza con volverse pesadilla. (www.imcyc.com)

A partir de la emisión de la norma citada, algunos empresarios se mostraron interesados en ingresar a este negocio. La empresa pionera es Concretos Reciclados SA de CV, compañía ciento por ciento mexicana que inició sus actividades en 2004. (www.imcyc.com)

Si bien en los estudios actuales sobre concreto reciclado con sustitución parcial de agregados prometen un camino factible para su práctica, un ahorro de energía, mejoras del medio ambiente y soluciones para los millones de toneladas de desechos producidos por demoliciones de construcciones, aún faltan estudios

sobre el comportamiento del concreto reciclado para determinar sus propiedades mecánicas, y dar una certidumbre en su uso.

1.2 Hipótesis

Los concretos con sustitución total del agregado grueso por agregado reciclado limpio de contaminantes producto de la demolición de estructuras de concreto son factibles para la elaboración de un concreto con un comportamiento similar al de el concreto fuente y con la adición de humo de sílice estos concretos pueden utilizarse para concretos de elementos estructurales.

1.3 Objetivos

Los objetivos de este estudio son:

- Estudiar las diferencias del comportamiento mecánico entre un concreto nuevo, un concreto reciclado y un concreto reciclado mejorado con humo de sílice.
- Estudiar el comportamiento de ante el fenómeno de transmisión de cortante para un concreto con un 100% de agregado grueso reciclado y determinar si la adición de humo de sílice al concreto con un 100% de agregado grueso reciclado modifica la respuesta ante ese fenómeno.

1.4 Desarrollo de tesis.

Los diferentes capítulos que la conforman son:

En el capítulo 1, se hace mención de los objetivos de esta tesis y se da una breve descripción de la importancia que tiene esta investigación en nuestro entorno.

En el capítulo 2 se hace un estudio del arte sobre autores a nivel internacional que han abordado el tema, así como una breve descripción de lo que es la zona de transición y lo que es el esfuerzo cortante.

En el capítulo 3, se describen las características de los materiales a utilizar en este trabajo, tales como: la granulometría, la absorción, la densidad y peso volumétrico. También se hace una breve descripción de los equipos utilizados, así como de las pruebas mecánicas a realizar y la metodología que se siguió en este estudio.

El capítulo 4, se presentan los resultados y el análisis obtenido de las pruebas explicadas en el capítulo 3.

El capítulo 5, se presentan las conclusiones y recomendaciones del análisis de datos obtenidos en el capítulo 4.

CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1 Antecedentes.

Todos los materiales de construcción a lo largo de toda su vida útil, desde su extracción, transporte, fabricación y aplicación generan contaminación e impacto al ambiente en menor y mayor grado. Por lo que nos vemos en la necesidad de tener prácticas sustentables encaminadas a la reducción del impacto al ambiente y reducción de los costos de materiales de construcción, mediante la justa aplicación del diseño sustentable. En el caso práctico, queda definido que podemos disminuir el impacto ambiental mediante el uso de estrategias y métodos diversos para la selección y aplicación de materias primas dentro de los procesos de construcción, principalmente mediante la aplicación los métodos de recuperación de materiales y manejo sustentable de materias primas, tales como: rehúso, reciclamiento, re-fabricación y recuperación de energía por materiales de construcción. (Hernández Moreno, 2009).

Hoy en día la tendencia actual en la construcción es el reciclaje de los residuos de construcción y demolición. Esto es, la sustitución de los agregados naturales por agregados provenientes de los residuos producto de la demolición de estructuras de concreto en la elaboración de nuevas mezclas. (Bedoya Montoya, 2003).

Algunas de las revisiones de la literatura sobre el árido reciclado se muestran a continuación.

El objetivo principal de probar concretos en donde el agregado es reciclado es averiguar si el agregado reciclado es adecuado para su aplicación en el área de construcción. De acuerdo con Jorge Muños (1975), es posible obtener concretos aceptables de buena calidad usando desechos de concreto como agregado grueso cuya resistencia será del orden de 90% de la que se obtendría

con un agregado normal para una relación agua/cemento determinada. Dicha afirmación se basó en ensayos realizados con un agregado grueso reciclado de 6.06% de absorción.

Torben C. Hansen (1983) afirmó que era factible producir concretos de baja resistencia sin importar la fuente de concreto del cual se obtuvo el agregado reciclado, y que incluso se podía producir concreto de mayor resistencia que el concreto original, aunque aumento ligeramente el contenido de cemento. Mientras que Yang, Chung y Ashour (2008), sostienen que para concretos reciclados con agregados de alta absorción, a edades tempranas se alcanza solo un 60 a 80% de la resistencia de un concreto normal, lo cual variaba levemente en los siguientes días.

Limbachiya y Leelawat (2000) encontraron que el agregado reciclado tenía de 7% al 9% menos de densidad relativa y tenía dos veces mayor absorción el agregado natural. Según los resultados de sus ensayos, se muestra que no hubo ningún efecto con la sustitución del 30% de agregado grueso reciclado. También mencionaron que agregado de concreto reciclado podría ser utilizado en la elaboración de concretos de alta resistencia.

Por su parte Cruz García y Velázquez Náñez (2004), mencionan que el escombros de concreto libre de contaminantes es un sustituto satisfactorio como agregado grueso en la elaboración de concreto nuevo. Las propiedades de rigidez, durabilidad, y trabajabilidad del concreto de agregado reciclado son aceptables, sin embargo, el concreto realizado con agregados reciclados tiene menos resistencia a la compresión que el concreto convencional, la cual puede manipularse para obtener una resistencia similar (por ejemplo con el aumento en la cantidad de cemento). Sánchez de Juan y Pilar Alaejos Gutiérrez (2008), dicen que las principales propiedades desfavorablemente afectadas por el contenido de mortero son: densidad, absorción y desgaste de los Ángeles, y las correlaciones entre ellos y adjunta el contenido de mortero. Además de que los agregados

reciclados con un contenido de mortero de menos de 44% podrían utilizarse como concreto estructural. Con este criterio, áridos con la densidad aparente específica superior a 2160 kg / m^3 , absorción de agua inferior al 8% y los pérdida por desgaste de los ángeles inferior al 40%, se obtienen.

Martínez Soto y Mendoza-Escobedo (2006), dicen que para concretos reciclados donde el reciclaje fue obtenido del producto de trituración de concreto premezclado (caliza), y el agregado reciclado contaba con una granulometría adecuada produce mezclas de buena calidad y con un comportamiento mecánico similar al de los concretos naturales, estos concretos reciclados pueden ser utilizados como concretos clase dos de acuerdo a las normas técnicas del Distrito Federal, lo que lo convierte en un concreto con una cantidad de aplicaciones nada despreciables. Entendiendo como concreto clase dos a aquel concreto que:

- Tiene un peso volumétrico en estado fresco comprendido entre 1.9 y 2.2 ton/m^3 .
- Los agregados gruesos con peso específico superior a 2.3 como una andesita.
- La resistencia especificada será inferior a 25 MPa (250 kg/cm^2) pero no menor que 20 MPa (200 kg/cm^2). (NTCDF,2004)

Poon, Kou y Lam (2002) reportó que no hubo efecto en la resistencia a la compresión de las muestras de ladrillo con la sustitución de 25% y 50% de agregado reciclado. Pero cuando el porcentaje de sustitución agregado reciclado aumenta, la resistencia a la compresión de las muestras se reduce.

C-S. Poon y D. Chan (2005), sustituyeron la arena por restos cerámicos de baldosas. Para un porcentaje máximo de sustitución de restos de ladrillo del 20% la resistencia a compresión a 28 días disminuyó en un 12.3%. en el caso de residuos de baldosa la disminución de la resistencia a compresión fue de un 15.4%.

Según Vivian W.Y. Tam et al (2006), la naturaleza porosa de los agregados reciclados reduce las propiedades mecánicas del concreto reciclado. Una optimización de la sustitución del agregado reciclado es utilizar alrededor del 25-40% y alrededor de un 50-70% AR también da una mejora en sus propiedades, aunque las mejoras son menos significativas cuando se compara con la de 25-40%. Al igual que Rolón Aguilar et al, (2007), quien menciona que las propiedades del concreto elaborado con agregados reciclados, remarcando que sólo se utilizó la fracción gruesa del árido reciclado y que provenía de hormigón limpio y libre de óxidos u otro tipo de material de construcción, es posible utilizar este nuevo concreto por lo menos como concreto en miembros no estructurales

De acuerdo con Tavakoli y Soroushian (1996), las características de resistencia del concreto con agregados reciclados en comparación con los concretos naturales fueron influenciados por la proporción del agregado grueso y agregado fino, y la relación de tamaño superior del agregado entre el agregado natural y reciclado.

Etxeberria M, Mari Ar y Vázquez E. (2007), establecen que sustituciones por debajo del 25% del agregado grueso apenas afecta la resistencia a cortante de elementos estructurales fabricados con agregados reciclados. Gonzales Fonteboa y Martínez Abella (2005) establecen un buen comportamiento a cortante del concreto reciclado con sustitución del 50% del agregado grueso.

2.2 Proceso de producción de los agregados reciclados (residuos de concreto).

Según concretos reciclados S.A de C.V en el proceso hay que diferenciar 2 fases, una primera de demolición y una segunda de transformación de los escombros en agregados. Si los escombros van a ser reciclados, conviene utilizar métodos de demolición que reduzcan in situ los escombros a tamaños que puedan ser tratados por un triturador primario de planta de reciclaje (menores de 1,200

mm en plantas fijas y de 400 a 700 mm para plantas móviles). Así mismo, los procesos de demolición selectiva pueden ayudar a disminuir la presencia de impurezas en los escombros, como por ejemplo el yeso. (Cortina Ramírez, 2004).

Las plantas de producción de agregados reciclados a partir de concreto de demolición son bastante similares a las plantas de trituración de agregados de origen natural, incluyendo trituradoras, cribas, mecanismos transportadores y equipos para la eliminación de contaminantes así como electroimanes para la separación del acero. Existen plantas de primera, segunda y tercera generación, en función de la misma para separar y reutilizar los diferentes productos del producto machacado. (Cortina Ramírez, 2004).

Las plantas de primera generación no incorporan mecanismos para la eliminación de sustancias contaminantes, excepto separadores magnéticos. (López Gavarre, 2008).

Las plantas de segunda generación incorporan, previo al machaqueo, sistemas manuales o mecánicos para eliminar contaminantes así como un sistema de limpieza del producto obtenido. (López Gavarre, 2008).

Las plantas de tercera generación procesan y permiten la reutilización de materiales secundarios considerados contaminantes de los agregados reciclados. (López Gavarre, 2008).

Una vez procesados los agregados se almacenan, teniendo en cuenta que se deben almacenar por separado los agregados naturales y los reciclados, así como diferenciar los finos de los gruesos, y que la absorción de agua del agregado grueso es elevada, por lo que estos se deben usar normalmente en condiciones de saturación. Los almacenes de dichos agregados deben estar provistos de aspersores de agua para mantener estas condiciones de humedad. (Cortina Ramírez, 2004).

Las principales aplicaciones de los agregados provenientes del concreto triturado son en carreteras (bases y sub-bases sin tratar, o tratadas con cemento o algún tipo de aglutinante, y en menor medida en capas superficiales del firme) y en edificación u otras obras públicas.

2.3 Distintas Normativas sobre agregados reciclados.

En la actualidad sólo algunos países disponen de normativas que regulan el uso de los agregados reciclados para su uso en concreto.

2.3.1 Normativa en USA:

El comité 555 ACI normaliza la utilización de los agregados reciclados, este clasifica los agregados reciclados según las siguientes categorías:

- a) Residuos triturados procedentes de demoliciones. Son una mezcla de concreto y residuos cerámicos triturados, clasificados y que contienen cierto porcentaje de otros elementos contaminantes.
- b) Residuos de demolición clasificados y limpios. Son una mezcla de concreto y residuos cerámicos triturados, clasificados y sin presencia de otros elementos contaminantes.
- c) Residuos cerámicos limpios. Son restos de ladrillos triturados y clasificados que contienen menos del 5% de concreto, materiales pétreos u otros contaminantes.
- d) Residuos de concreto limpio. Son restos de concreto triturado y clasificado que contienen menos del 5% de restos de ladrillo, materiales pétreos u otros contaminantes.

A todos ellos se les exige, cuando vayan a ser utilizados en la producción de concreto, que posean la dureza adecuada para conseguir la resistencia a compresión deseada, que no provoquen reacciones indeseables con otros

componentes de la mezcla y que su granulometría y forma sean las adecuadas para obtener una buena trabajabilidad con ellos. En función a su uso se clasifican en:

- A. Agregados para rellenos en general. (categorías a, b, c y d anteriores).
- B. Agregados para drenajes. (categorías a, b, c y d anteriores).
- C. Agregados para bases y sub-bases de carretera. (categorías b, c y d anteriores).
- D. Agregados para la fabricación de concreto. (categorías a, b, c y d anteriores).

2.3.2 Normativa en Japón.

En Japón los agregados reciclados se clasifican en tres categorías. El agregado reciclado de mayor calidad se le denomina con la letra H, el de calidad intermedia con la letra M y el de más baja calidad con la letra L. Con el primero de ellos se consiguen las mejores prestaciones en la fabricación de concretos. Quedan regulados, respectivamente, por las normas JIS A 5021, JIS A 5022 y JIS A 5023 puestas en circulación entre los años 2005 y 2007. (López Gavarre, 2008).

La clasificación en una u otra categoría se basa en los requisitos exigidos a sus propiedades físicas, a la reactividad álcali-árido y al contenido de impurezas que contengan.

2.3.3 Normativa en Australia.

En 2002, el Ministerio de Medio Ambiente y Patrimonio en colaboración con CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) elaboró una guía nacional para la utilización de concreto reciclado en aplicaciones no estructurales. En dicha guía los agregados reciclados se clasifican en agregados reciclados clase 1 y clase 2. Los primeros son los que se utilizan en la

fabricación de concreto ya que las limitaciones establecidas en sus propiedades físicas son muy parecidas a las de los agregados naturales. Los agregados naturales de clase 2 se utilizan como material de relleno y como base y sub-base en carreteras y pavimentación. Se les exige a ambos una absorción inferior al 6% y una densidad mínima de 2100 kg/m³. (López Gavarre, 2008).

2.3.4 Normativa en Alemania.

En Alemania la norma DIN 4226-100 clasifica a los agregados reciclados en cuatro categorías diferentes:

Tipo 1: Son los agregados que producen mayoritariamente de residuos de concreto o de agregados minerales. Presentan un contenido máximo de clinker, ladrillo y arenisca caliza del 10%.

Tipo 2: Son los agregados que producen mayoritariamente de residuos de concreto o de agregados minerales con un porcentaje mínimo del 70%. Presentan un contenido máximo de clinker, ladrillo y arenisca caliza del 30%.

Tipo 3: Son los agregados que producen mayoritariamente de residuos cerámicos en una proporción mínima del 80%. Presentan un contenido máximo de materiales procedentes de concreto o agregados minerales del 20%.

Tipo 4: Son agregados que en su mayoría proceden de RCDs con un contenido mínimo del 80% de material procedente de concreto, agregados minerales o productos cerámicos. (López Gavarre, 2008).

2.3.5 Normatividad en el Reino Unido.

En Reino Unido la Norma BS-EN 206-1 clasifica el agregado reciclado en dos tipos diferentes:

RCA: Agregado reciclado procedente de residuos de concreto con contenido máximo de impurezas como material cerámico, partículas ligeras, asfalto, vidrio, plástico entre otras cosas del 17%. La resistencia máxima recomendable del concreto fabricado con este tipo de agregado no supera los 40 N/mm².

RA: Agregado reciclado procedente de materiales cerámicos o mezclado con concreto. El contenido de materiales cerámicos puede ser del 100%. Se utiliza en concretos pobres con resistencias a compresión que no llegan a los 20 N/mm².

La RILEM distingue tres tipos de agregados reciclados:

Tipo I: Agregados procedentes mayoritariamente de fábrica de ladrillo.

Tipo II: Agregados procedentes mayoritariamente de residuos de concreto con un contenido máximo de residuos cerámicos del 10%.

Tipo III: Agregados compuestos por una mezcla de agregados naturales mayor de 80%. El resto puede estar integrado por un 10% como máximo de agregados tipo I o hasta un 20% de agregados tipo II. (López Gavarre, 2008).

2.3.6 Normativa en España.

En España se publicó en Julio del 2008, la EHE-08. Esta incorpora un anexo donde quedan detalladas las recomendaciones para la utilización de concretos reciclados. Entre ellas se destacan las siguientes:

- Excluye los agregados finos reciclados para la fabricación de concreto.

- No permite la fabricación de concreto con agregados reciclados de distinta naturaleza al concreto así como aquellos que, aunque procedan de residuos de concreto, puedan estar afectados por patologías que afecten a su calidad tales como ataque por sulfatos, fuego, reactividad álcali-árido, etc o provengan de concretos especiales como el aluminoso, con fibras, polímeros, etc.
- El tamaño del agregado permitido será de 4 mm presentando como máximo un 5% en peso de partículas que pasen por dicho tamiz así como un 10% de desclasificados inferiores.
- El contenido de cloruros, de sulfatos, de partículas blandas y de las que tienen bajo peso específico serán los mismos que los prescritos en la instrucción para agregados naturales.
- Cuando la sustitución de agregado grueso natural por agregado grueso reciclado no supere el 20% el contenido de terrones de arcilla en dicho agregado no será superior al 0.6%. En el agregado natural no excederá del 0.15%.
- El contenido de material cerámico no deberá exceder del 5% en peso del total de la muestra, las partículas ligeras en el 1%, el asfalto en el 1% y otros materiales como el vidrio, plásticos, metales, en el 1%.
- La absorción en el agregado reciclado no será superior al 7% cuando el porcentaje de sustitución del agregado reciclado no supere el 20%. En este caso el agregado grueso natural no presentará una absorción superior al 4.5 %. Si se supera el 20% de sustitución de agregado reciclado, el agregado natural no debe presentar una absorción superior al 5%.
- La resistencia al desgaste será la misma que los agregados naturales con un coeficiente de los Ángeles máximo de 40%.

- La granulometría, el coeficiente de forma y el índice de lajas del agregado reciclado serán adecuados para su empleo en concreto estructural. (López Gavarre, 2008).

2.3.7 Normativa en Brasil

Brasil es el primer país en América Latina donde se instala una planta de reciclaje de residuos de la construcción y demolición a partir de la Resolución emitida por CONAMA N°307/2002 [9] que entra en vigencia en el año 2003, y establece directrices, criterios y procedimientos para la gestión de los residuos de la Construcción Civil (RCC).

Algunos municipios vienen implantando acciones para el reciclaje, pautadas en la legislación municipal adecuada, como es el caso de Salvador, Belo Horizonte, Sao Paulo, entre otros. (Mercante, Bovea et al, 2009).

Dicha Resolución clasifica los residuos en 4 clases:

I - Clase A: Son los residuos reutilizables o reciclables como agregados, tales como:

- a) De construcción, demolición, reformas e reparación de pavimentación, de otras obras de infraestructura, inclusive suelos provenientes de terraplenes.
- b) De construcción, demolición, reformas y reparación de edificaciones: componentes cerámicos (tejas, ladrillos, placas de revestimiento), mortero y concreto.
- c) De proceso de fabricación y/o demolición de pre-moldeados de concreto (bloques, tubos).

II - Clase B: Son los residuos reciclables para otros destinos, tales como: plásticos, papel/cartón, metales, vidrios, maderas y otros.

III - Clase C: Son los residuos para los cuales no han sido desarrolladas tecnologías o aplicaciones económicamente viables que permitan su reciclaje/recuperación, tales como los productos de yeso.

IV - Clase D: Son los residuos peligrosos originados de procesos de construcción, tales como: tintas, solventes, óleos y otros, o aquellos contaminados que provienen de demoliciones, reformas de clínicas radiológicas, instalaciones industriales y otros.

Define a los generadores de los RCC como los responsables de los impactos causados al medio natural, estableciendo el principio contaminador-pagador. Los transportistas de RCC son solidariamente responsables en caso de disposición clandestina.

Dentro de las acciones a seguir se considera la participación conjunta de los generadores y la administración pública por medio del Plan Integrado de Gerenciamiento de RCC (PIGRCC).

2.3.8 Normativa en México.

En México a partir del año 2004 se pone en marcha la primera planta de reciclaje y única en el país, en el Distrito Federal (Concretos Reciclados S.A.).

La Ley General para la prevención y Gestión Integral de los Residuos LGPGIR (2003 y modificada 2007), en su Título III clasifica a los RCD dentro de los residuos de manejo especial, punto VII: Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general”. En la gaceta oficial (22/04/2003) se publica la Ley de Residuos Sólidos para el Distrito Federal que regula las disposiciones de la LGPGIR de alcance nacional. Esta Ley regula los residuos considerados como no peligrosos. El Art. 26 tiene una gran connotación en la industria de la construcción, enuncia que los propietarios, directores, responsables

de obras, contratistas y encargados de inmuebles en construcción o demolición, son responsables por la gestión de sus residuos y establece la obligación de planes de manejo. (Mercante, Bovea et al, 2009).

El Distrito Federal es el primero en gestionar normas que regulen el vertido de los residuos de Construcción, a través de la Norma ambiental (NADF-007-RNAT-2004) del 12/07/2006, que establece la clasificación y especificaciones de manejo de residuos de la construcción.

Define a los residuos de construcción y demolición como los materiales, productos o subproductos generados durante de las actividades de excavación, demolición, ampliación, remodelación, modificación o construcción tanto pública como privada.

La Coordinación Sectorial de Normas, Especificaciones y Precios Unitarios de la Secretaría de Obras del Gobierno del D. F. ya elaboró la Norma 4.01.01.029, referente a Materiales de Construcción reciclados, que indica los requisitos de calidad que deben de cumplir estos productos en los diferentes ámbitos de aplicación y como deben realizarse los muestreos, pruebas y bases de aceptación. La Gaceta Oficial del Distrito Federal oficializó el día 12 de julio de 2006 en su publicación número 80, en las páginas 17 a la 25.

2.4 Aditivos.

Hoy en día la mayoría de las mezclas de concreto contienen adiciones al cemento que constituyen una porción del material cementante en el concreto. Estos materiales son generalmente subproductos de otros procesos o materiales de origen natural. Ellos pueden o no ser procesados antes de ser utilizados en los concretos. Algunos de estos materiales son denominados puzolanas, que por sí mismos no tienen propiedades cementantes, pero cuando se utilizan con cemento

portland, reaccionan para formar componentes cementantes. Otros materiales, como las escorias si exhiben propiedades cementantes. (www.nrmca.org).

Para su uso en el concreto, las adiciones al cemento, algunas veces son referidos como adiciones minerales, necesitan cumplir los requerimientos de las normas establecidas. Ellos pueden ser utilizados individualmente o en combinación en el concreto. (www.nrmca.org).

Algunos ejemplos de estos materiales son:

- Las cenizas volantes.
- Escorias molidas de alto horno.
- Humo de sílice.
- Puzolanas naturales.

Las adiciones al cemento pueden ser utilizados para el mejoramiento del desempeño en su estado fresco y endurecido. Son principalmente utilizados para mejorar la trabajabilidad, la durabilidad y la resistencia. Las mezclas de concreto con elevados contenidos de cemento portland son susceptibles a la fisuración y a una mayor generación de calor. Estos efectos pueden ser controlados en alguna medida mediante la utilización de adiciones al cemento. (www.nrmca.org).

Los materiales cementantes suplementarios tales como las cenizas volantes, las escorias y el humo de sílice le permiten a la industria del concreto utilizar centenares de millones de toneladas de subproductos de otra forma serían vertidos en el terreno como desechos. Por otro lado su utilización reduce el consumo de cemento portland por unidad de volumen de concreto. (www.nrmca.org).

2.4.1 Humo de sílice. (ACI 234R)

El humo de sílice es un material puzolánico de alta reactividad y es un subproducto de la producción de metal silíceo o ferrosilíceo. Se recolecta chimenea de gases de los hornos de arco eléctrico. El humo de sílice es un polvo extremadamente fino, con partículas alrededor de 100 veces más pequeñas que un grano promedio de cemento. El humo de sílice está disponible como un polvo densificado o en forma de material acuoso. La norma para el humo de sílice es la ASTM C1240. Generalmente se utiliza entre el 5 y el 12% en peso de los materiales cementantes para estructuras de concreto que necesitan alta resistencia o una permeabilidad significativamente reducida al agua.

2.5 Fuerza cortante

La fuerza cortante viene a ser el resultado de la acción de las fuerzas verticales que actúan en una sección determinada de una viga. Figura 2.1.

La fuerza cortante resultante genera esfuerzos horizontales y verticales los cuales son iguales ya que los momentos generados por estos son iguales.

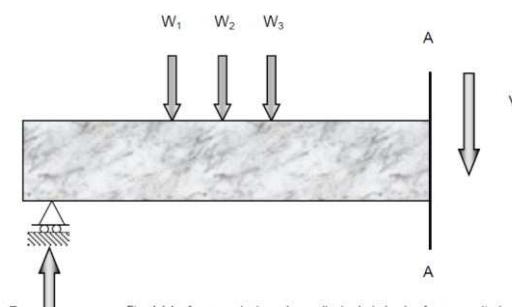
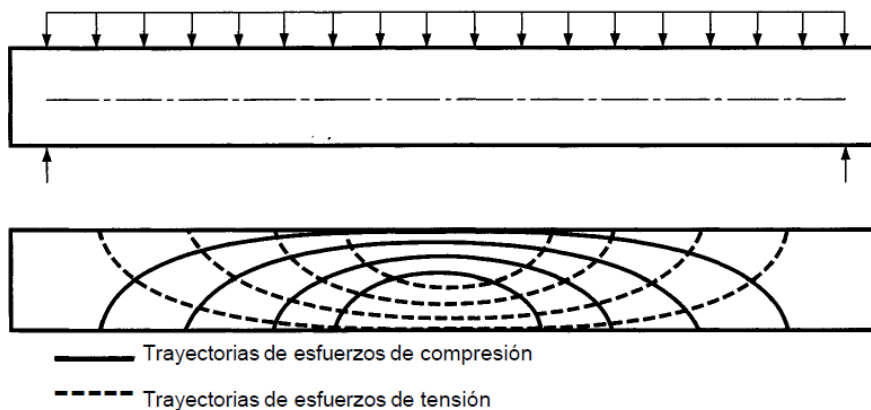


Figura 2. 1 La fuerza cortante es la resultante de todas las fuerzas verticales que actúan en la viga en una sección considerada, manteniendo el equilibrio en la sección $V=RL-W1-W2-W3$. (Gonzales Cuevas y Robles Fernández, 2005)

En la figura 2.2 se ilustra una red típica de esfuerzos principales, para el caso de una viga libremente apoyada sujeta a una carga uniforme.

Como la resistencia del concreto a esfuerzos de tensión es baja, comparada con su resistencia a esfuerzos de compresión, o a esfuerzo cortante propiamente dicho, un elemento de concreto tenderá a fallar según superficies perpendiculares a las direcciones de las tensiones principales.

En vigas de concreto, esto hace necesario proporcionar refuerzo de acero para suplir la falta de resistencia a tensión del concreto en cualquier zona del elemento.



**Figura 2. 2 Trayectorias de esfuerzos en una viga rectangular homogénea. .
(Gonzales Cuevas y Robles Fernández, 2005)**

2.5.1 Comportamiento y modos de falla.

A continuación se describe el comportamiento bajo carga y los modos de falla de elementos de concreto en los cuales la acción de la fuerza cortante es importante. Para facilitar la exposición se agrupan los elementos en tres tipos distintos.

- a) Vigas o columnas sin refuerzo transversal en el alma, sujetas a combinaciones de fuerza cortante, momento flexionante y carga axial.
- b) Vigas o columnas con refuerzo transversal en el alma, mostrado esquemáticamente en la figura por estribos verticales, y sujetas a las mismas.

- c) En las dos direcciones, sujetas a cargas concentradas o a cargas repartidas. Este tipo de elementos está sujeto a flexión en dos direcciones.

2.5.2 Elementos sin refuerzo en el alma. (Secciones rectangulares)

Considérese un elemento sometido a carga en la forma mostrada en la figura 2.3 a. En los primeros incrementos de carga no existe diferencia entre el comportamiento de un elemento que falle por efecto de fuerza cortante y el de otro que falle por flexión. Antes de que aparezcan las primeras grietas en la parte inferior, debidas a flexión, el comportamiento del elemento es esencialmente elástico. Al aumentar las cargas, la fuerza cortante puede originar esfuerzos principales que excedan la resistencia a tensión del concreto, produciendo grietas inclinadas a una altura aproximada de medio peralte. Estas grietas pueden aparecer súbitamente en puntos donde no exista una grieta de flexión o, muy frecuentemente, pueden presentarse como continuación de una grieta de flexión que gradualmente cambia de inclinación.

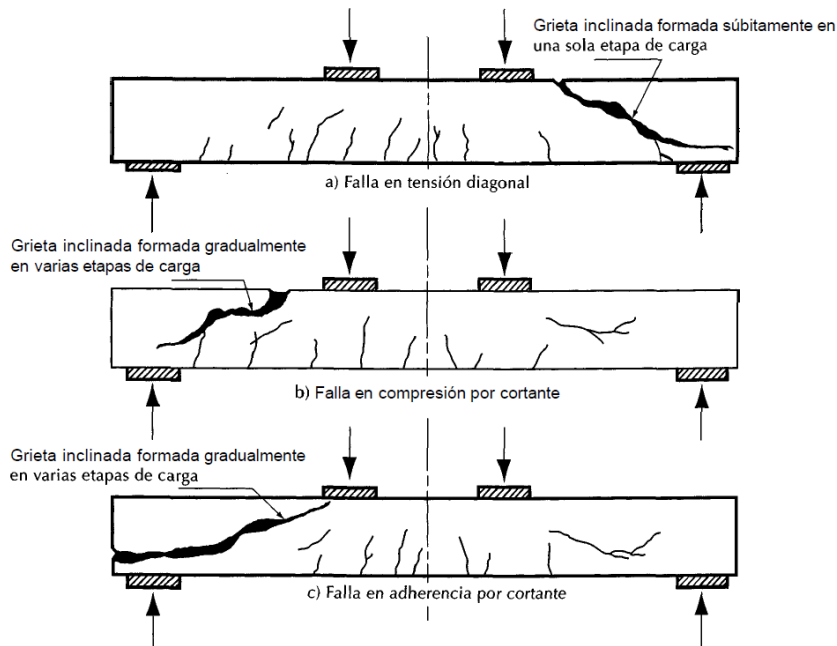


Figura 2. 3. Representación esquemática de los diferentes tipos de falla en elementos en los que predomina la fuerza cortante. (Gonzales Cuevas y Robles Fernández, 2005)

En miembros sujetos a compresión o tensión axial, las grietas inclinadas se forman a cargas mayores o menores, respectivamente, que la carga que produce el agrietamiento del mismo miembro sin carga axial. A partir de este momento, el comportamiento del elemento difiere en forma importante del correspondiente a un miembro que falle por flexión. La grieta inclinada puede aparecer súbitamente, sin señal previa, y extenderse inmediatamente hasta causar el colapso de la pieza, como se muestra en la figura 2.3 a. En este caso la falla se denomina de *tensión diagonal*. Por otra parte, puede suceder que el agrietamiento inclinado se desarrolle gradualmente y que el colapso de la pieza se produzca finalmente por el aplastamiento de la zona de compresión en el extremo de la grieta inclinada, al reducirse considerablemente la zona disponible para soportar los esfuerzos de compresión originados por flexión. En este caso la falla se denomina de *compresión por cortante* (figura 2.3 b). La diferencia esencial entre ambos tipos de falla consiste en que, en una falla por tensión diagonal, el agrietamiento inclinado es súbito y causa de inmediato el colapso de la pieza, mientras que en una falla de compresión por cortante, la pieza puede soportar cargas mayores que la que produce el agrietamiento inclinado. Algunos autores establecen otro tipo de falla, denominada generalmente de *adherencia por cortante*. Este tipo se caracteriza porque la resistencia se alcanza cuando se presentan extensos agrietamientos longitudinales al nivel del acero de tensión, simultáneos con un aplastamiento ligero en la zona de compresión en el extremo de la grieta inclinada, como se muestra en la figura 2.3c.

Desde el punto de vista de resistencia, cuando la falla se produce súbitamente al aparecer la primera grieta inclinada importante, se dice que el elemento falla en *tensión diagonal*. Cuando la falla ocurre después de la aparición de una grieta inclinada importante y la resistencia es mayor que la carga que formó esta grieta, se dice que el elemento tuvo una *falla en compresión por cortante* o *en adherencia por cortante*, según el caso.

Desde el punto de vista del comportamiento de una estructura, es muy desventajoso que un elemento alcance su resistencia debido a uno de estos tipos de falla antes de que se presente la fluencia del acero longitudinal, ya que estas fallas se producen rápidamente a deformaciones pequeñas. En consecuencia, la estructura resulta poco dúctil. La carga que produce las primeras grietas inclinadas completas se suele denominar *carga de agrietamiento inclinado*. En general, una grieta inclinada importante es aquella que se extiende a través de casi todo el peralte del elemento y se empieza a prolongar a lo largo del acero de tensión. Varios investigadores la han definido de acuerdo con distintos criterios basados en la observación visual del elemento, y, por lo tanto, la carga correspondiente está sujeta a variaciones de orden subjetivo. Sin embargo, esta carga marca en general un cambio importante en el comportamiento del miembro. Cuando la grieta inclinada se produce súbitamente y causa el colapso de la pieza, la carga de agrietamiento es también la resistencia del elemento.

CAPÍTULO III: MATERIALES, EQUIPOS Y DESARROLLO EXPERIMENTAL.

3.1.- Materiales.

Los materiales para elaborar el “concreto fuente” fueron arena, grava y cemento, típicos de la región de Querétaro de Arteaga.

El agregado reciclado fue el que se obtuvo de la trituración de los especímenes ya ensayados de concreto fuente.

3.1.1 Agregado fino.



Figura 3. 1 Arena.

El agregado fino que se utilizó en esta prueba fue adquirido en un banco de materiales de la Ciudad de Querétaro (Figura 3.1).

Se realizó la caracterización del agregado fino obteniéndose granulometría, peso específico relativo y peso volumétrico.

En la tabla 3.1 se muestra la granulometría de la arena obtenida. Teniendo un módulo de finura de 2.1 siendo clasificada como una arena fina.

Tabla 3. 1 Granulometría de la arena.

Mallas No	Mallas(mm)	% que pasa.
4	4.75	99
8	2.36	96
16	1.18	78
30	600µm	14
50	300µm	2
100	150µm	0
M.F		2.10

Los requerimientos de granulometría para agregados finos de las normas ASTM C33 son los mostrados en la tabla 3.2.

Tabla 3. 2 Requerimientos de granulometría para agregados finos (ASTM C33).

Requerimientos de granulometría para agregados finos.	
malla(mm)	Porcentaje que pasa
9.5	100
4.75	95-100
2.36	80-100
1.18	50-85
600µm	25-60
300µm	10-30
150µm	2-10

Como se puede observar la arena esta dentro de los límites a excepción del porcentaje que pasa la malla No 30, 50 y 100 que a quedado un poco por debajo, por lo que repercute en el modulo de finura el cual para nuestra arena es de 2.1 siendo clasificada como una arena fina.

Nota: es importante recalcar que hay varias razones para especificar los límites de granulometría y el tamaño máximo del agregado, siendo lo

más importante su influencia en la trabajabilidad y en el costo. Por ejemplo, las arenas muy gruesas producen mezclas de concreto ásperas y difícilmente trabajables, y las arenas muy finas incrementan los requisitos de agua (por lo tanto, incrementan también el requerimiento del cemento para una relación dada de agua/cemento) y resultan antieconómicas; los agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño en particular, producen las mezclas para concreto más trabajables y económicas.(Kuma Meta y Paulo Monteiro,1998)

- Peso específico relativo (densidad) 2.601 (Norma ASTM C 128)
- Peso volumétrico PVCH =1365.57 kg/m³ (Norma ASTM C 29)
- Absorción 6.951%(Norma ASTM C 128)

3.1.2 Agregado grueso natural.



Figura 3. 2 Grava.

El agregado grueso que se utilizó en esta tesis fue adquirido en un banco de materiales de la Ciudad de Querétaro (Figura 3.2). Las propiedades estudiadas para este agregado fueron granulometría, absorción, peso específico relativo y peso volumétrico.

En la tabla 3.3 se muestra la granulometría obtenida de acuerdo a la norma ASTM C33.

Tabla 3. 3 Granulometría de la grava.

Malla No.	% que pasa
1"	100
3/4"	90
1/2"	50
3/8"	31
No 4	3
Pasa No 4	0

Los requerimientos de granulometría para agregados finos de las normas ASTM C33 son los mostrados en la tabla 3.4.

Tabla 3. 4 Requerimientos de granulometría para los agregados gruesos (ASTM C33).

		Requerimientos de granulometría para los agregados gruesos.												
Tamaño (núm.)	Tamaño nominal (mallas con aberturas cuadradas)	porcentaje que pasa												
		100m m	90m m	75m m	63m m	50m m	37.5m m	25m m	19m m	12.5m m	9.5m m	4.75 m m (No 4)	2.36 m m (No 8)	1.5 m m (No 16)
1	90-37.5 mm	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63-37.5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50-25.0 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
357	50-4.75 mm	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
4	37.5-4.75 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
467	37.5-4.75 mm	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
5	25.0-9.5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-
56	25.0-4.75 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-	-
57	25.0-4.75 mm	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-
6	19.0-9.5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
67	19.0-4.75 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
7	12.5-4.75 mm	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	9.5-2.36 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Como se puede observar la granulometría de la grava se encuentra dentro del rango permitido.

- Absorción 0.913%(Norma ASTM C 127).
- Peso específico relativo 2.506 (densidad) (Norma ASTM C 127)
- Peso volumétrico P.V.C.H =1499.62 kg/m³ (Norma ASTM C 29)

3.1.3 Agregado grueso reciclado.



Figura 3. 3 Agregado grueso reciclado.

El agregado reciclado que se utilizó en esta tesis es el procedente de los especímenes del concreto fuente, por medio de trituración, y que se encontraba entre 19.05 mm y 4.75mm. (Figura 3.3). En la tabla 3.5 se muestra la granulometría obtenida de acuerdo a la norma ASTM C33. Teniendo un tamaño nominal de ¾”.

Tabla 3. 5 Granulometría del agregado reciclado.

Malla No.	% que pasa
1"	98
¾"	73
½"	40
⅜"	24
No 4	1
Pasa No 4	0

Como se puede observar en la tabla 3.5 la granulometría del agregado reciclado esta fuera de los requerimientos de la norma ASTM C33.

El agregado reciclado tiene también las siguientes características:

- Absorción 7.911% (Norma ASTM C 127). Es evidente que los agregados gruesos reciclados son notablemente más absorbentes que los naturales.
- Peso específico relativo 2.036 (densidad) (Norma ASTM C 127). Como se puede observar la densidad del agregado reciclado (2.036) es menor que la densidad del agregado natural (2.506) ya que el contenido de pasta de cemento en el material reciclado disminuye la densidad global del agregado. El intervalo normal de densidad relativa de los agregados naturales es de 2.4-2.9 (Kosmatha,1992) y las normas técnicas complementarias del Distrito Federal mencionan que para un concreto clase 1 la densidad relativa es superior a 2.6, y para un concreto clase 2 la densidad relativa es superior a 2.3. El agregado reciclado tiene una densidad relativa menor que el rango requerido para agregados naturales. Sin embargo, la densidad relativa es buena ya que está muy próximo al rango de variación de los agregados naturales.
- Peso volumétrico P.V.C.H =1187.55 kg/m³ (Norma ASTM C 29). El peso volumétrico compactado de un agregado compactado usado para concreto de peso normal, varía de 1200-1760 Kg/m³. En este punto el agregado grueso reciclado está ligeramente bajo del rango (1187.55 kg/m³), sin embargo se puede apreciar que el peso volumétrico compactado del agregado reciclado está muy cerca del rango requerido para los agregados naturales.

3.1.4 Cemento Portland Compuesto (CPC 30R.)



Figura 3. 4 Cemento tolteca extra.

El cemento utilizado para realizar el concreto natural en este estudio fue un cemento CPC 30R (Tolteca) con desarrollo de rápida resistencia en las edades iniciales, lo que te permite desmoldar o descimbrar en menor tiempo que otros cementos. (Figura 3.4).

Este cemento está elaborado principalmente con clínker gris, yeso natural, y otros materiales naturales estrictamente seleccionados. Este cemento corresponde a la clasificación de CPC (Cemento Pórtland Compuesto) de la actual norma mexicana para cementos en México, NMX-C-414-ONNCCE. El nivel de resistencias a la compresión del CPC 30R Tolteca Extra, sobrepasa los límites mínimos de la clase resistente 30 de la norma mencionada.

Tabla 3. 6 Resistencia a la compresión del cemento tolteca CPC30R y CPO de acuerdo a Cemex (www.cemexmexico.com/ce/ficha30_2.html).

	3 días	28 días	
	mín	mín.	max.
CPC 30R	204 kg / cm ²	306 kg / cm ²	510 kg / cm ²
	20 N / mm ²	30 N / mm ²	50 N / mm ²
CPO	---	204 kg / cm ²	408 kg / cm ²
	---	20 N / mm ²	40 N / mm ²

El CPC 30R Tolteca Extra está especialmente formulado para reducir la aparición de grietas generadas por contracción plástica. Adicionalmente mejora de manera significativa la consistencia del concreto elaborado con el CPC 30R Tolteca Extra, dando lugar a mezclas de concreto más fáciles de manejar, con mayor cohesión, adherencia y trabajabilidad aún con agregados problemáticos.

Al utilizar el CPC 30R Tolteca Extra se reducirá notablemente el sangrado y la segregación del concreto, manteniendo las mezclas de concreto húmedas y con una distribución homogénea de todos los materiales que lo conforman (cemento, agregado grueso, agregado fino y agua).

Con el CPC 30R Tolteca Extra se reduce la necesidad del curado del concreto, sin embargo ante condiciones ambientales extremas sí es necesario proteger al concreto para evitar una rápida evaporación de agua en su superficie y su consecuente agrietamiento por contracción plástica.

Por su tamaño de partícula resulta conveniente para dar acabados finos o tersos a tus obras y su tiempo de fraguado te permitirá realizar con comodidad las operaciones de transporte, colocación y acabado.

La incorporación de componentes naturales en su formulación mejora la manejabilidad y durabilidad. El CPC 30R Tolteca Extra es un cemento adecuado para todos los climas del país.

3.1.5 Cemento Blanco CPC 30B



Figura 3. 5 Cemento blanco CPC 30B Moctezuma

El cemento utilizado para realizar el concreto reciclado en este estudio fue un cemento blanco CPC 30R (Moctezuma) con el objetivo de que se pudiera observar con mayor facilidad en el concreto: la pasta vieja, la pasta nueva y el agregado grueso. (Figura 3.5).

La resistencia mínima a 3 días es de 20 N/mm^2 (204 kg/cm^2) y a 28 días es de 30 N/mm^2 (306 kg/cm^2).

El cemento blanco CPC 30 B es muy adecuado para obras de concreto armado en las que se requiere un endurecimiento más rápido de lo normal.

Se recomienda para:

- Estabilización de suelos.
- Elementos pretensados.
- Pavimentación.
- Prefabricación.
- Vivienda en general.
- Block y tabicón.
- Adoquines.
- Tubos.

3.1.6 Acero.



Figura 3. 6 Acero.

El acero utilizado en esta tesis son barras corrugadas del número 4 y estribos de alambón (No 2). Con un esfuerzo a la fluencia de $f'y=4200\text{kg/cm}^2$ y 2530kg/cm^2 respectivamente como se muestra en la (Figura 3.6).

3.1.7 Sikacrete-950 DP.

De acuerdo a la ficha técnica: Sikacrete-950 DP es un aditivo en polvo con base en humo de sílice para producir mezclas de concreto con altas características de reducción de permeabilidad, resistencia química, mecánica y de cohesividad.

Actúa de dos maneras:

- Reacción Puzolánica: Reacciona químicamente con la cal sobre el cemento, mejorando las resistencias de la mezcla.
- Reacción Granular: Por su finura llena todos los poros del concreto.

Sikacrete -950 DP aporta al concreto una mayor durabilidad en ambientes agresivos (plantas industriales, centrales eléctricas, agrícolas, talleres, planta de tratamiento de aguas residuales, muelles, etc.). Permite tener concreto con iguales o mayores resistencias mecánicas, utilizando menor cantidad de cemento que en

una mezcla normal. Imparte mejores características de cohesión y compactación, permitiendo tener concretos bombeables de buenas características. Dada su gran finura de Sikacrete -950 DP siempre debe usarse acompañado de un aditivo superfluidificante (Sikament- 320, Sikament-100, Sikament-HE 200, etc.) evitando así elevar la relación agua/cemento. Sikacrete -950 DP se utiliza habitualmente entre el 5% y 15% de peso del cemento de acuerdo con las necesidades y aplicación específica del concreto.

Los datos técnicos de Sikacrete -950 DP son:

- Aspecto: Polvo fino.
- Color: Gris oscuro.
- Contenido SiO₂: 99,0% mínimo.
- Superficie específica: 150 m²/g aprox.
- Densidad: 2,0 - 2,2 kg/l aprox.

3.1.8. Sikamet 410.

De acuerdo a la ficha técnica: Sikamet 410 es un aditivo líquido multipropósito, reductor de agua de rango medio, plastificante y retardante de fraguado con exclusión de aire para concreto. No contiene cloruros. Cumple con la norma ASTM C 494 Tipo D y ASTM C 1017 Tipo II (en función de la dosificación). Sikament 410 se utiliza principalmente en la elaboración de concretos para todo tipo de estructuras, especialmente diseñado para emplearse como reductor de agua, plastificante o fluidificante con sólo variar la dosificación. Permite tener concretos con baja inclusión de aire.

Las ventajas de usar sikamet 410 son:

- Aumenta las resistencias mecánicas.
- Permite acabados superficiales de alta calidad.
- Permite una mayor adherencia al acero de refuerzo.

- Reduce la permeabilidad.
- Se puede re-dosificar en obra para facilitar la colocación y/o bombeo del concreto sin afectar los tiempos de fraguado.
- Mayor permanencia de trabajabilidad

El modo de Empleo: como plastificante: Agregue Sikament 410 al concreto ya mezclado, en este caso debe ampliarse el tiempo de mezclado medio minuto por cada metro cúbico de concreto. Como reductor de agua: Agregue Sikament 410 junto con el agua de mezcla durante la preparación del concreto.

La dosificación: como reductor de agua y retardante (ASTM C 494 Tipo D): De 0,6% a 0,9% del peso del cemento (5,0 a 7,0 ml/kg de cemento). Como plastificante (ASTM C 1017 Tipo II): De 0,4% a 0,6% del peso del cemento (3,0 a 5,0 ml/kg de cemento)

Los datos Técnicos de sikamet 410 (aditivo líquido) son: Color: café oscuro, Densidad: 1,25 kg/l aprox.

Precauciones: La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales y las condiciones de la obra. Cuando se empleen re-dosificaciones del aditivo antes de colocar o bombear el concreto, la dosis total (primera y segunda dosis) no deberá exceder de 1,2% del peso del cemento (10,0 ml/kg de cemento).

3.1.9 Agua.



Figura 3. 7 Agua.

El agua es agua potable de la ciudad de Querétaro, ya que el agua potable resulta de manera satisfactoria en el mezclado del mortero. (Figura 3.7). Sin embargo hay que tener en cuenta que las impurezas en el agua utilizada para mezclar el concreto, cuando son excesivas, pueden afectar no sólo la resistencia del concreto si no también al tiempo de fraguado, la eflorescencia (depósito de sales blancas en la superficie del concreto), y la corrosión del acero de refuerzo o del acero de preesfuerzo.

En general, el agua de mezclado raramente es un factor en la resistencia del concreto, porque en muchas especificaciones para elaborar mezclas de concreto, la calidad del agua está protegida por la cláusula que establece que el agua deberá ser adecuada para el consumo humano.

3.2 Equipos.

Los equipos utilizados en esta tesis fueron:

- Cono de Abrams.
- Maquina universal.
- Marco de carga.

3.2.1 Revenimiento.- Cono de Abrams (NMX-C-156-ONNCCE)

El cono de Abrams es un molde de metal con forma de cono truncado, con un diámetro en la base de 20 cm (8 pulgadas) y un diámetro en la parte superior de 10 cm (4 pulgadas), con una altura de 30 cm (12 pulgadas). (Figura 3.8).

Se le utiliza para realizar ensayos de consistencia de concreto fresco.

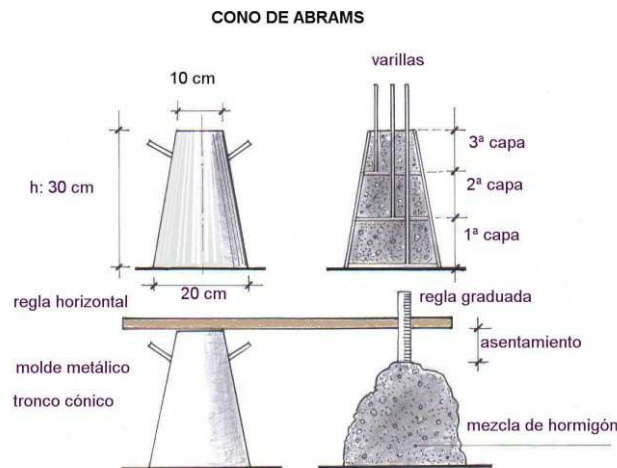


Figura 3. 8 Características del cono de Abrams.

En la preparación de la mezcla de concreto es muy importante que la combinación cemento/áridos y su relación con el agua, sean las adecuadas para lograr las propiedades fundamentales de la mezcla fresca primero (consistencia) y endurecida luego (resistencia).

El molde en forma de cono truncado se llena con la mezcla en 3 capas de la misma altura, compactando con 25 golpes de varilla por vez, acto seguido se levanta el molde y se mide cuanto ha descendido la mezcla en el punto central. El valor obtenido, es la medida de la consistencia de la mezcla. Se la denomina también asentamiento, puede variar entre 2 y 18 cm, según sea el tipo de estructura y los procedimientos de encofrado, colocación y compactación.

3.2.2 Máquina Universal

En ingeniería se denomina máquina universal (Figura 3.9) a una máquina semejante a una prensa con la que es posible someter materiales a ensayos de tracción y compresión para medir sus propiedades. La presión se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o un sistema hidráulico. Esta máquina es ampliamente utilizada en la caracterización de nuevos materiales.

Tiene dos platinas, una fija (arriba) y una móvil (Abajo). Es de tipo electrónico y dependiendo de la aproximación requerida se tienen diferentes capacidades: 3 ton., 7 ton., 15 ton., 30 ton., 75 ton. y 120 ton. Como capacidad máxima.



Figura 3. 9 Maquina universal de 120 toneladas.

3.2.3 Marco de carga.



Figura 3. 10 Marco de carga.

Se utilizó un pequeño marco de carga equipado con un gato hidráulico con capacidad de 50 toneladas. (Figura 3.10).

La geometría de las vigas es la mostrada en la figura 3.11.

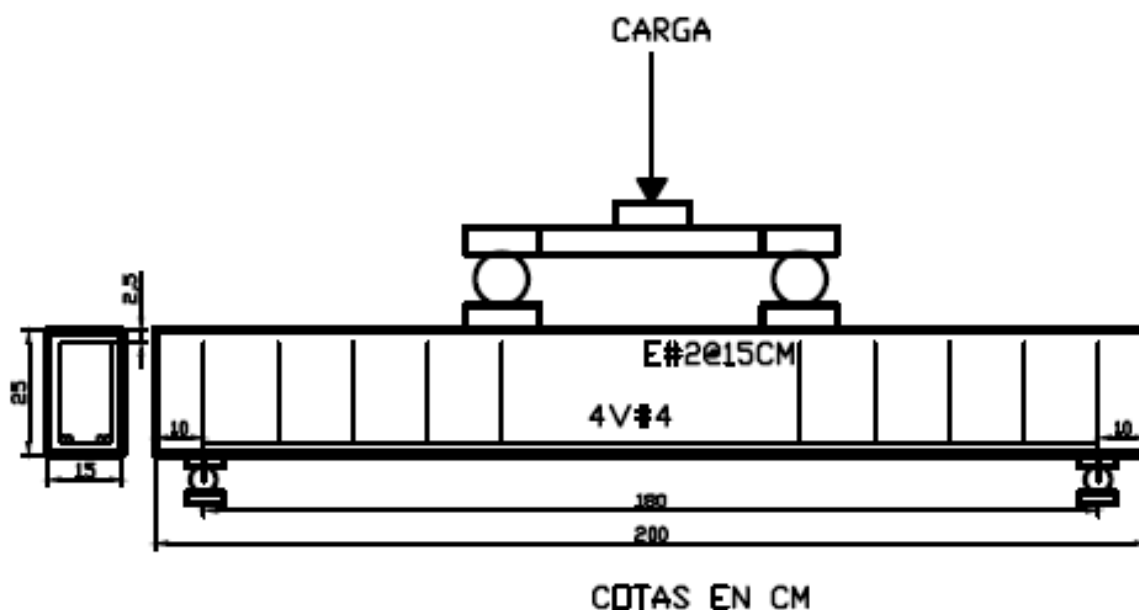


Figura 3. 11 Geometría de las vigas.

La viga fue diseñada por medio del las NTCDF, de tal forma que la falla fuera por cortante y no por flexión. Los parámetros de las vigas diseñadas son: $p_{min}= 0.0026$, $p=0.0150$, $p_{max}= 0.0151$, $p_{bal}= 0.0202$, $A_{smin}= 0.889$, $A_s= 5.067$, $A_{smax}= 5.122$.

Para garantizar que la falla fuera por cortante los estribos los colocamos a cada 15 cm en lugar de cada 6 cm que era lo que pedía el diseño. Por lo que el momento resistente es $M_r=3510.291 \text{ kg}\cdot\text{m}$ y el cortante resistente es $V_t=3852.228 \text{ kg}$.

Para conocer la respuesta de cada viga se debe de disponer de información relativa de los siguientes parámetros:

- Carga aplicada.
- Fisuración aparecida durante los ensayos.
- Deflexión de la viga ante la carga.

Este conjunto de datos permitirá extraer conclusiones sobre deflexión y capacidad resistente.

3.3 Desarrollo experimental.

El desarrollo experimental se comprende principalmente de dos etapas:

- a) Caracterización de materiales y concretos.
- b) Prueba de elementos estructurales.

Lo anterior aplicado a cada uno de los materiales (concretos: fuente, reciclado y reciclado mejorado).

En la figura 3.12 se muestra un diagrama de flujo con los pasos a seguir en esta investigación.

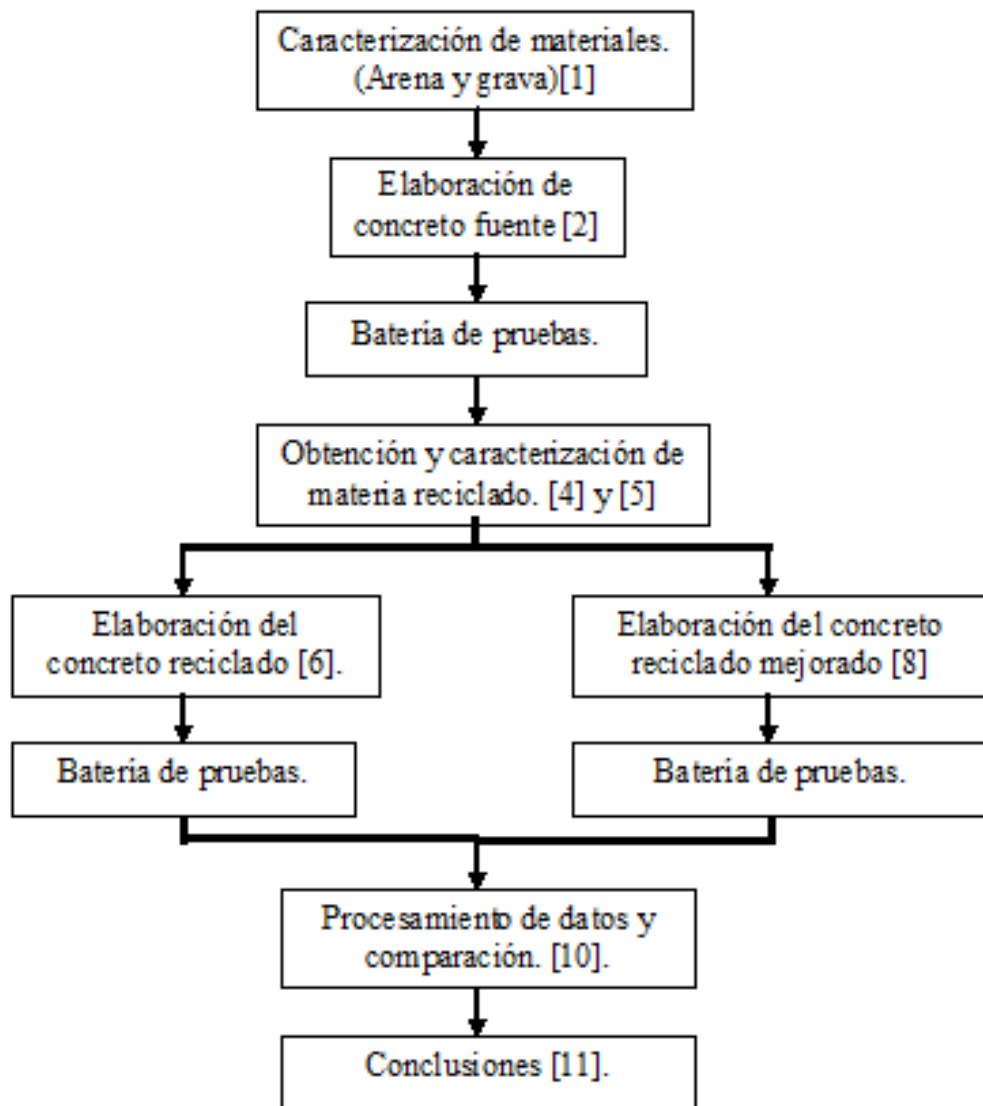


Figura 3. 12 Diagrama de flujo del Desarrollo experimental.

Los números dentro de los [] son los pasos correspondiente explicados a continuación.

[1] Caracterización de los agregados naturales.

- Para la arena (agregado fino natural) se realizó:
 - Granulometría (Norma ASTM C 33). Apéndice I.
 - Absorción (Norma ASTM C 128). Apéndice II.
 - Peso específico relativo (densidad) (Norma ASTM C 128). Apéndice II.
 - Peso volumétrico (Norma ASTM C 29). Apéndice III.



Figura 3. 13 Pruebas de granulometría, peso volumétrico, absorción y densidad de la arena.

- Para la grava (agregado grueso natural):
 - Granulometría (Norma ASTM C 33). Apéndice IV.
 - Absorción (Norma ASTM C 127). Apéndice V.
 - Peso específico relativo (densidad) (Norma ASTM C 127). Apéndice V.
 - Peso volumétrico (Norma ASTM C 29). Apéndice VI.



Figura 3. 14 Pruebas de granulometría, peso volumétrico, absorción y densidad de la grava.

Nota: Una vez conocidos los pesos volumétricos y densidades de los diferentes materiales, el diseño de mezclas se realizó de acuerdo al ACI 211(Estándar practice for selecting proportions for normal, heavy weight and mass concrete) Apéndice VII.

[2] Elaboración de concreto normal con cemento gris a partir de los agregados naturales. La elaboración del concreto natural consiste en homogenizar el material en la revolvedora, una vez hecha la mezcla se realiza la prueba de trabajabilidad, para después realizar los especímenes de compresión, modulo de ruptura y flexión-cortante.



Figura 3. 15 Elaboración de concreto normal.

- 2 vigas (15x15x60cm), 3 vigas (15x25x200cm) y 36 cilindros.

[3] Batería de pruebas.

[4] Obtención del agregado reciclado, este es producto de la demolición del concreto fuente. Este material se delimitó en material que pasa la malla de 1" y se retenga en la malla número 4, para que este con las características parecidas al del agregado grueso natural y poder ocupar los cilindros de 10x20cm, que de acuerdo a norma el diámetro debe ser mínimo 5 veces el tamaño nominal del agregado grueso.



Figura 3. 16 Obtención del agregado reciclado.

[5] Caracterización de los agregados a utilizar en el concreto reciclado.

- Para el agregado reciclado:
 - Granulometría (Norma ASTM C 33). Apéndice IV.
 - Absorción (Norma ASTM C 127). Apéndice V.
 - Peso específico relativo (densidad) (Norma ASTM C 127). Apéndice V.
 - Peso volumétrico (Norma ASTM C 29). Apéndice VI.



Figura 3. 17 Pruebas de granulometría, peso volumétrico, absorción y densidad del agregado reciclado.

[6] Elaborar concreto reciclado con cemento blanco y 100% de agregado grueso reciclado. Se realizaron 2 vigas (15x15x60cm), 3 vigas (15x25x200cm) y 36 cilindros.



Figura 3. 18 Elaboración del concreto reciclado.

[7] Batería de pruebas.

[8] Elaborar concreto reciclado con cemento blanco y humo de sílice. Se realizaron 2 vigas (15x15x60cm), 3 vigas (15x25x200cm) y 36 cilindros.



Figura 3. 19 Elaboración del concreto reciclado mejorado.

[9] Batería de pruebas.

[10] Procesamiento de datos.

[11] Conclusiones.

Nota: los componentes de los concretos se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3. 7 Componentes de los concretos.

Mezcla	Agregado grueso	Arena	Cemento gris	Agregado reciclado	Cemento Blanco	Humo Sílice
Fuente(CN)	X	X	X			
Reciclado (CR)		X		X	X	
RCHS(CRM)		X		X	X	X

La Batería de pruebas consiste en:

- Prueba de trabajabilidad de mezcla: Prueba de revenimiento (Norma ASTM C 143). El propósito del ensayo de revenimiento o asentamiento es determinar la consistencia del concreto fresco y verificar la uniformidad de la mezcla. Esta prueba se realizó para el control del agua de acuerdo a su trabajabilidad.



Figura 3. 20 Prueba de revenimiento en campo.

- Prueba de peso volumétrico en estado fresco: Esta prueba fue realizada conforme a la norma ASTM C138. La cual consta de pesar el recipiente, luego se llenar en el primer tercio del recipiente y se varilla 25 veces y se golpea ligeramente el exterior del recipiente con el martillo de hule para cerrar los huecos dejados por la varilla de compactación, se repiten estos pasos para la segundo y tercer tercio del recipiente, una vez lleno se enrasa y se pesa el recipiente con el material, por último se calcula la densidad del concreto en el recipiente, restando el peso del recipiente vacío y dividiendo entre el volumen del recipiente.(figura 3.21)



Figura 3. 21 Peso volumétrico en estado fresco.

- Prueba de compresión (Norma ASTM C 39): En esta prueba los especímenes de la prueba son cilindros de 10x20cm, este tipo de cilindros es permitido y no tiene ningún factor ya que conserva la relación de tener de altura dos veces el diámetro de los cilindros, y la carga a la que son sometidos es incrementada progresivamente hasta la falla del espécimen dentro de los dos o tres minutos. Los especímenes se probaran a los 3, 7, 14 y 28 días, probando 3 especímenes para cada uno de los tiempos antes mencionados.



Figura 3. 22 Prueba de compresión.

- Modulo de rotura. (Norma ASTM C78): La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas a vigas de concreto de 6x6 pulgadas (150x150mm) de sección transversal y con un claro de como mínimo de tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el módulo de rotura. En la norma ASTM C78 la carga se aplica en los puntos tercios. La mitad de la carga se aplica en cada tercio del claro. El módulo de rotura es más bajo que en el caso de la carga en el punto medio (Norma ASTM C293). La tensión máxima se encuentra en el tercio medio de la viga.



Figura 3. 23 Prueba módulo de rotura.

- Pruebas de cortante mediante ensaye a flexión en las vigas. Esta prueba consiste en aplicar carga en los puntos tercios del claro. La mitad de la carga se aplica en cada tercio del claro. Se puso un micrómetro en el centro del claro con el objetivo de medir las deformaciones. Además, las vigas se cuadriculan para poder observar con mayor detalle el patrón de grietas que tuvo cada viga.



Figura 3. 24 Prueba a flexión en vigas.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 Propiedades en estado fresco.

El estado fresco del concreto es cuando parece una masa. Es blando y puede ser trabajado o moldeado en diferentes formas.

Las propiedades más importantes del estado fresco son la trabajabilidad y la cohesividad.

4.1.1 Diseño de mezclas y Revenimiento.

El diseño de las mezclas se realizó de acuerdo al ACI 211, quedando el proporcionamiento como se muestra en la tabla 4.1. Las mezclas CRM se sustituyeron el humo de sílice en 10% de la cantidad de cemento y se adicionaron 5ml/kg de cemento.

Los concretos fueron diseñados para un revenimiento de 7.6 cm de acuerdo y aceptando la tolerancia de ± 2.5 cm fue como se buscó que el revenimiento de las mezclas estuviera entre 7.6 y 10 cm (control de mezclas a través del revenimiento). El revenimiento de cada una de las mezclas se obtuvo con el procedimiento establecido en la norma ASTM C143.

En la tabla 4.1 se muestran los revenimientos obtenidos. Como se puede observar todos los revenimientos se encuentran dentro de la tolerancia de ± 2.5 que se encuentran establecidos en la norma ASTM C94.

Tabla 4.1. Proporcionamiento de mezclas y revenimiento.

Mezcla	Proporcionamiento			Revenimiento (cm)	Relación a/c	Observaciones.
	Cemento	A. Fino	A. Grueso			
CN1	1	1.6	2.5	9.05	0.64	Se buscó un revenimiento de entre 7.6-10 cm
CN2	1	1.6	2.5	8.93	0.63	
CN3	1	1.6	2.5	9.37	0.64	
CR1	1	1.6	2	9.80	0.63	Se buscó un revenimiento de entre 7.6-10 cm
CR2	1	1.6	2	8.70	0.60	
CR3	1	1.6	2	9.87	0.65	
CRM1	1	1.6	2	8.95	0.54	Las mezclas de CRM, el humo de sílice fue en sustitución del 10% del cemento y 5ml/kg de cemento de reductor de agua.
CRM2	1	1.6	2	9.25	0.56	
CRM3	1	1.6	2	9.90	0.60	

4.1.2 Peso volumétrico fresco.

Los pesos volumétricos frescos se obtuvieron con el procedimiento de la norma ASTM C138. Los pesos volumétricos obtenidos se muestran en la tabla 4.2. En esta se observa que los pesos volumétricos de los concretos reciclados y concretos reciclados mejorados son ligeramente menores que el de los concretos naturales. Sin embargo, según lo establecido en las normas técnicas complementarias del Distrito Federal el concreto natural y reciclado se clasifican como concretos clase 2, ya que tienen pesos volumétricos frescos entre 1900 y 2200 kg/m³.

Tabla 4.2 Peso volumétrico en estado fresco del concreto.

Mezcla	P.V. Fresco (kg/m ³)
CN1	2176.26
CN2	2196.90
CN3	2186.58
CR1	2145.30
CR2	2124.66
CR3	2125.70
CRM1	2119.50
CRM2	2082.35
CRM3	2088.54

4.2 Propiedades en estado endurecido.

El estado endurecido es después de que el concreto ha fraguado empieza a ganar resistencia y se endurece. Las propiedades más importantes del concreto endurecido son resistencia y durabilidad.

4.2.1 Resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión de las mezclas concreto se obtuvieron siguiendo el procedimiento de la norma ASTM C39.

En la figura 4.1 se muestran los resultados obtenidos a 3, 7, 14, 28 días (3 especímenes por día) a compresión de cada uno de los especímenes probados así como su desviación estándar.

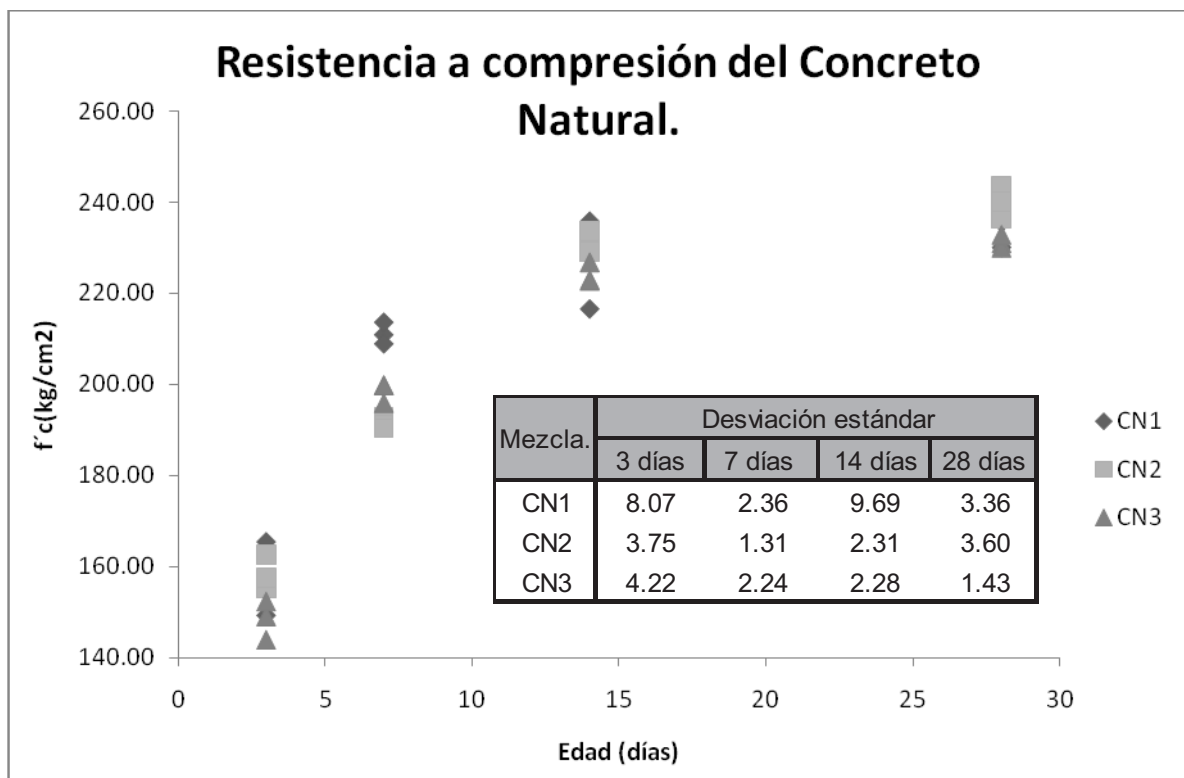


Figura 4.1 Desviación estándar de los especímenes de las mezclas de CN.

En la figura 4.2 se representa las graficas de resistencia a compresión de las mezclas CN1, CN2 y CN3.

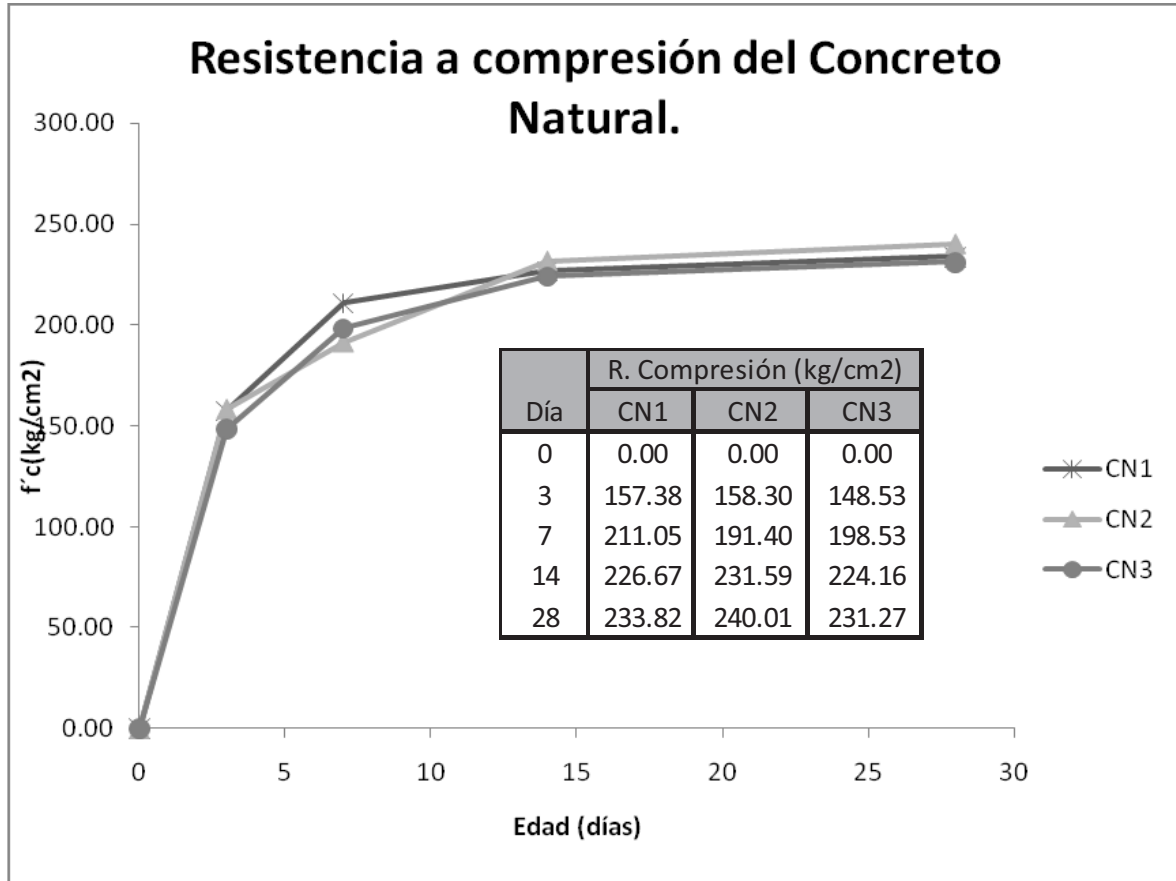


Figura 4.2 Resistencia a compresión del concreto natural.

En la figura 4.3 se muestran los resultados obtenidos a 3, 7, 14, 28 días (3 especímenes por día) a compresión de cada uno de los especímenes probados así como su desviación estándar de las mezclas de concreto reciclado (CR) y en la figura 4.4 se representa las graficas de resistencia a compresión de las mezclas CR1, CR2 y CR3. En la figura 4.5 se muestran los resultados obtenidos a 3, 7, 14, 28 días (3 especímenes por día) a compresión de cada uno de los especímenes probados así como su desviación estándar de las mezclas de concreto reciclado mejorado (CRM) y en la figura 4.6 se representa las graficas de resistencia a compresión de las mezclas CRM1, CRM2 y CRM3. (nota: los datos completos se encuentran en el apéndice VIII).

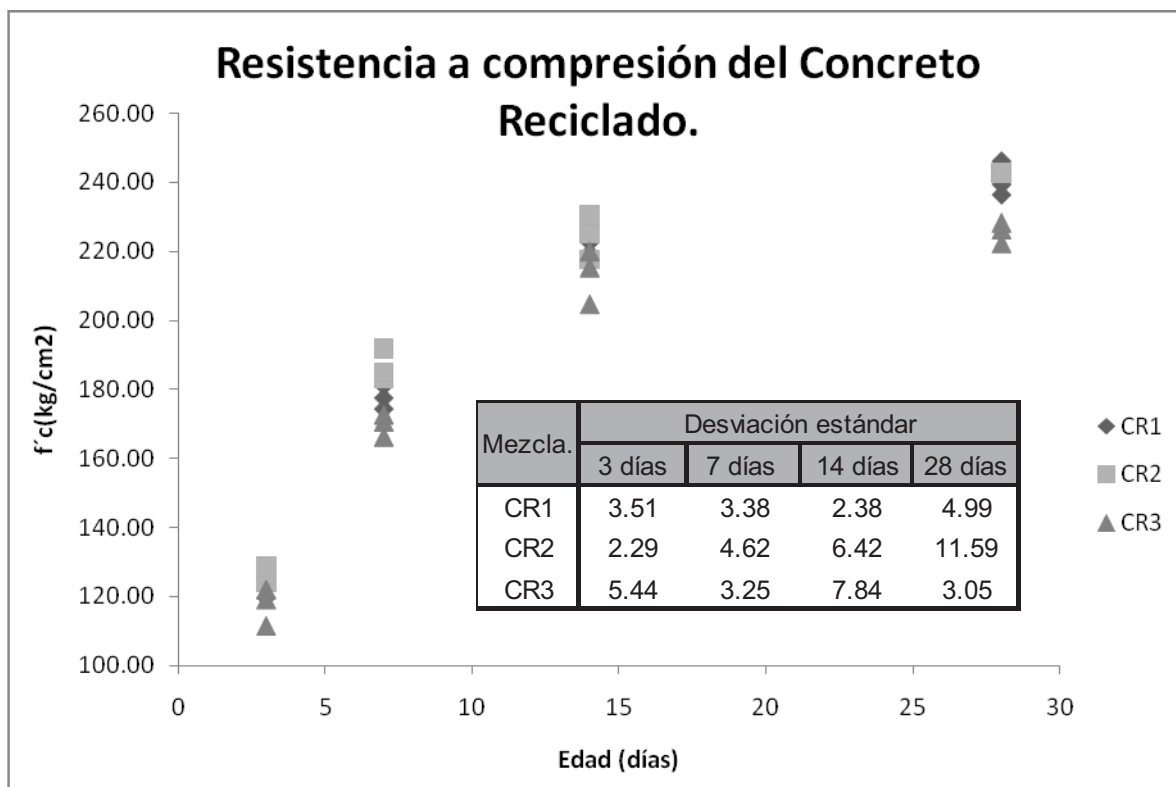


Figura 4.3 Desviación estándar de los especímenes de las mezclas de CR.

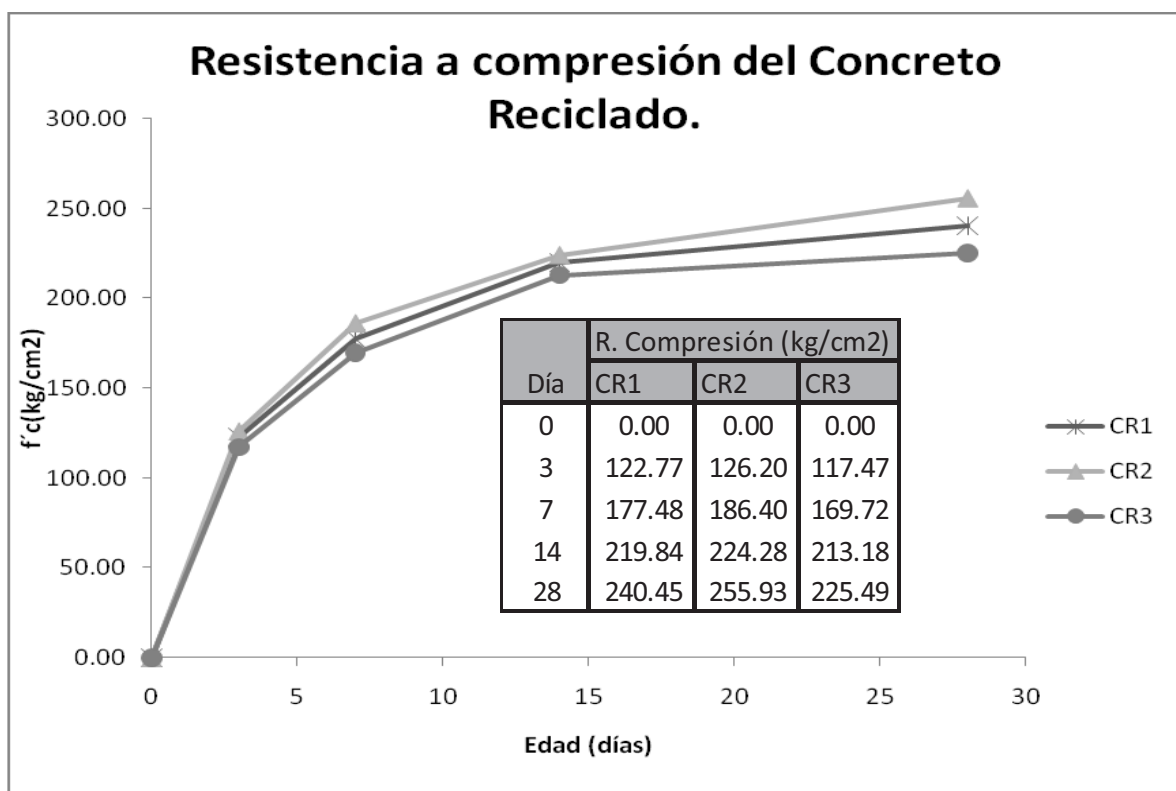


Figura 4.4 Resistencia a compresión del CR.

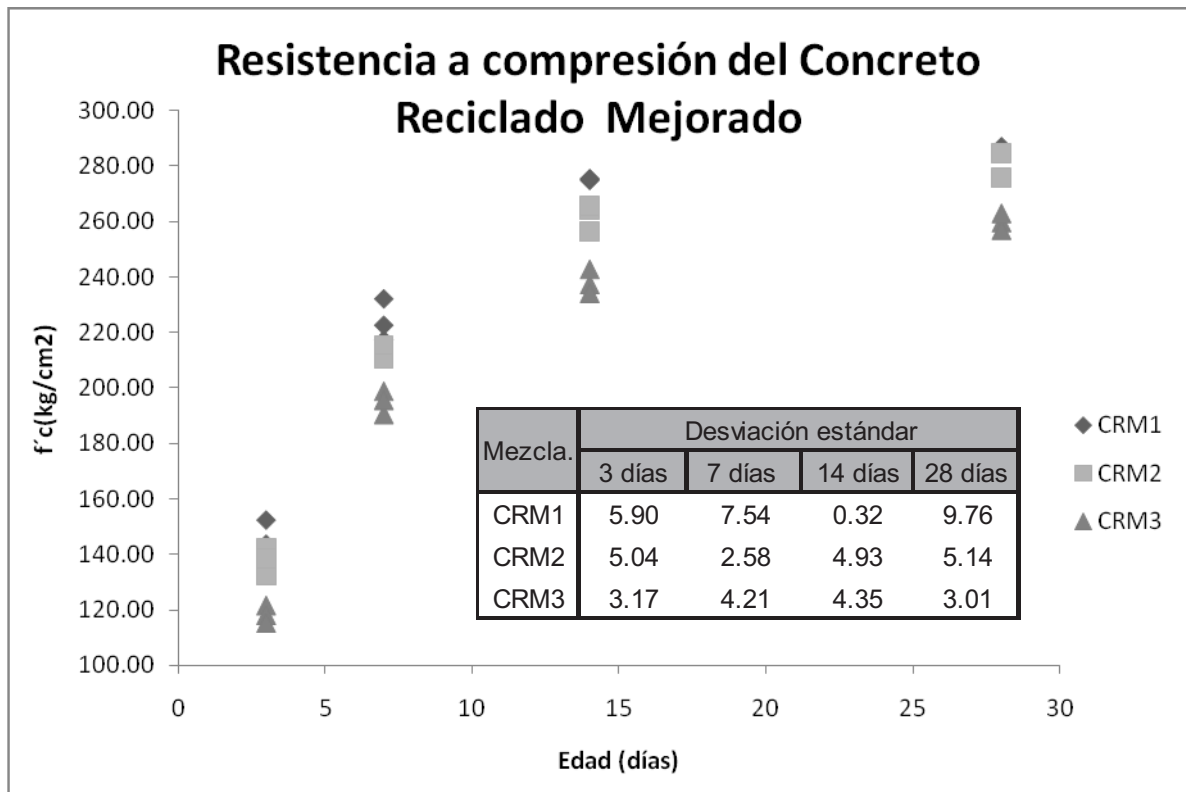


Figura 4.5 Desviación estándar de los especímenes de las mezclas de CRM.

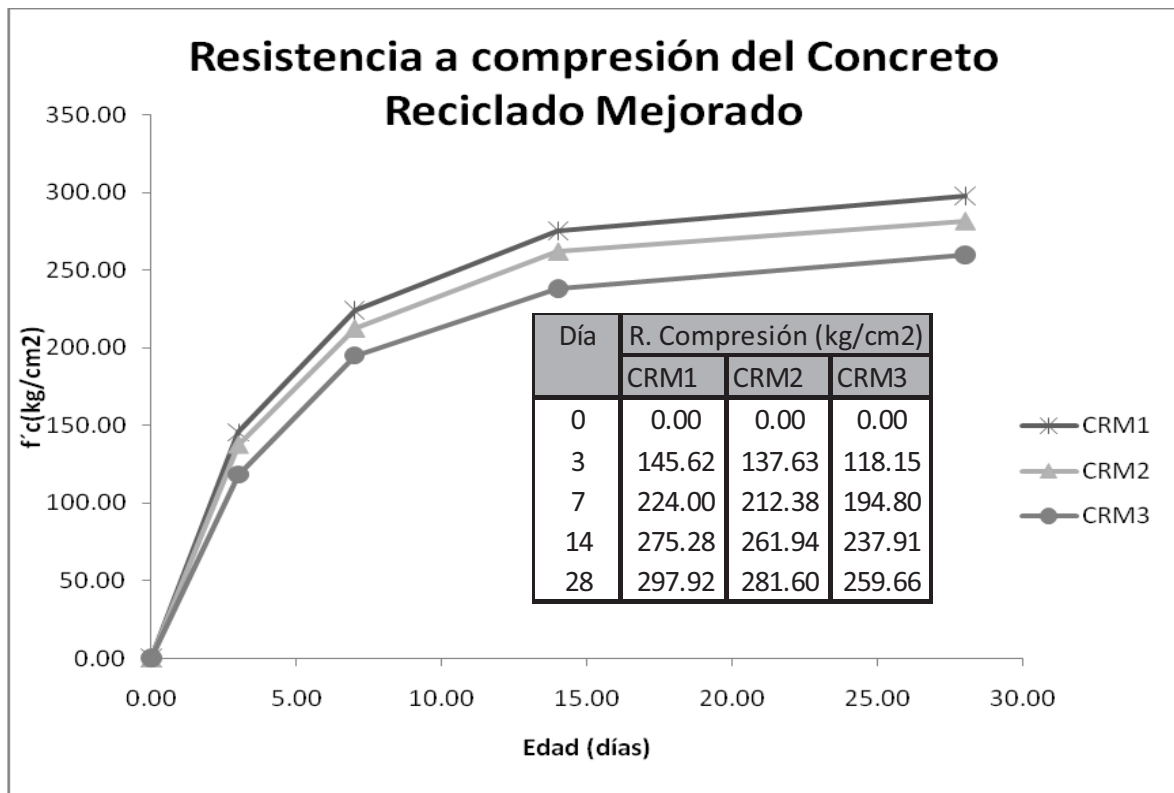


Figura 4.6 Resistencia a compresión del CRM.

En la figura 4.7 se muestra una comparativa de los diferentes tipos de concretos, en ella se puede observar que el concreto reciclado tiene una resistencia a compresión un poco más alta para aproximadamente el mismo revenimiento (5.3% aproximadamente), cosa que concuerda con la investigación realizada por Martínez-Soto y C.J. Mendoza-Escobedo quienes mencionan que si se relaciona el consumo de cemento con la resistencia a la compresión, para concretos con un consumo de hasta 300 kg/m³ de cemento, la eficiencia en los concretos reciclados es mayor que en los naturales, mientras que para consumos mayores a 300 kg/m³ la eficiencia es mayor para los concretos, y con la adición de humo de sílice el comportamiento de la resistencia a compresión aumenta (18.88% en comparación con el CN y un 14.34% en comparación con el CRM).

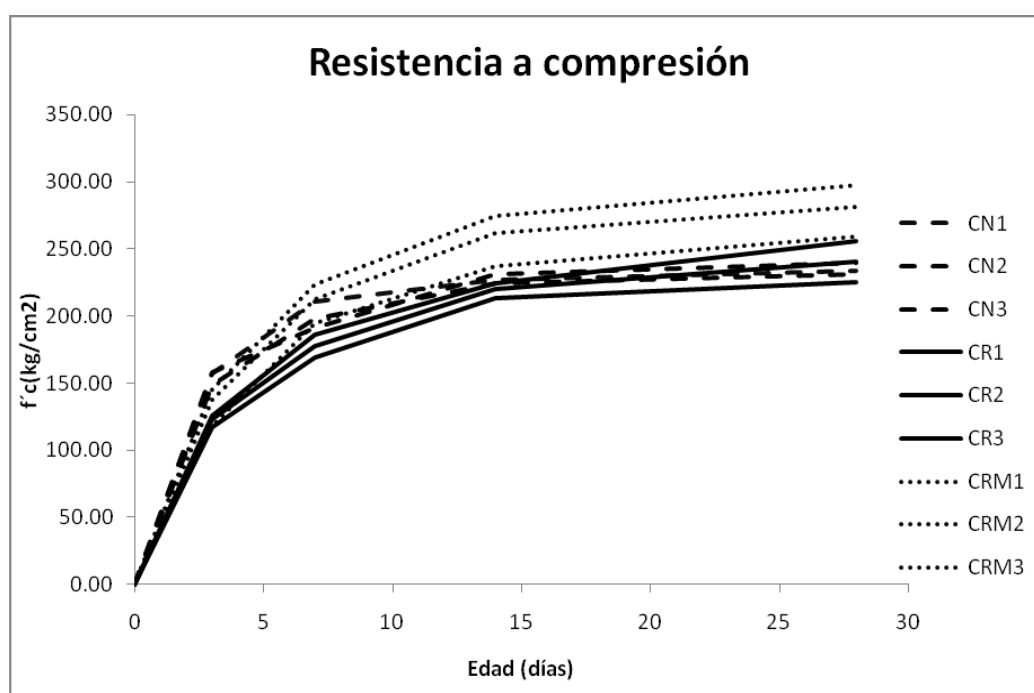


Figura 4.7 Resistencia a compresión de los concretos.

Por otro lado el RCDF dice “los concretos clase 1 tendrán una resistencia especificada $f'c$, igual o mayor que 250 kg/cm². La resistencia especificada de los concretos clase 2 será inferior a 250 kg/cm² pero no menor que 200 kg/cm². Con lo que podemos decir que los concretos (CN, CR y CRM) se encuentran dentro de los rangos del concreto clase 2.

4.2.2 Resistencia a la flexión (módulo de ruptura).

La resistencia a la flexión o módulo de ruptura para un concreto de peso normal, de acuerdo con RCDF se considera como 2 y 1.4 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión para concretos clase 1 y clase 2. Para obtener los valores de la resistencia a la flexión que alcanzaron los concretos, se empleo la norma ASTM C78.

En la tabla 4.3 se presentan los resultados obtenidos de la prueba de módulo de ruptura de los concretos naturales, concretos reciclados y concretos reciclados mejorados, así como el módulo de ruptura teórico tanto del concreto clase 1 y del concreto clase 2. Se puede observar que los valores de los concretos entran dentro del concreto clase 1 a excepción de las muestras CN2-1, CR2-1 y CR2-2 las cuales se consideran como concreto clase 2, también se puede ver que el promedio del modulo de ruptura es semejante en el concreto natural y el concreto reciclado mejorado pero el modulo de ruptura del concreto reciclado es menor. (nota los datos completos se encuentran en el apéndice IX)

Tabla 4.3 Módulo de ruptura.

Especimen	f'c(kg/cm ²)	Carga Max aplicada (kg)	Módulo de ruptura R(kg/cm ²)	Módulo de ruptura promedio	Desviación estándar	Módulo de ruptura R teórico(kg/cm ²)	
						clase 1	clase 2
CN2-1	240.01	2200.00	29.18			30.98	21.69
CN3-1	231.27	2800.00	36.26	34.09	4.26	30.41	21.29
CN3-2	231.27	2850.00	36.82			30.41	21.29
CR1-1	240.45	2614.00	34.32			31.01	21.71
CR1-2	240.45	2752.00	36.37			31.01	21.71
CR2-1	255.94	1989.00	25.60	32.37	3.72	32.00	22.40
CR2-2	255.94	2383.00	31.18			32.00	22.40
CR3-1	225.50	2450.00	33.62			30.03	21.02
CR3-2	225.50	2550.00	33.13			30.03	21.02
CRM1-1	297.92	2650.00	35.69			34.52	24.16
CRM1-2	297.92	2750.00	35.67			34.52	24.16
CRM2-1	281.60	2900.00	37.76	35.41	2.49	33.56	23.49
CRM2-2	281.60	2950.00	38.32			33.56	23.49
CRM3-1	259.66	2500.00	32.50			32.23	22.56
CRM3-2	259.66	2550.00	32.53			32.23	22.56

4.2.3 Ensaye de las vigas a cortante mediante ensaye a flexión.

4.2.3.1 Vigas a flexión.

Las vigas fueron ensayadas a flexión, pero al ser diseñadas con un alto contenido de acero a flexión y uno bajo a cortante esto produjo niveles altos de tensión diagonal cerca de los apoyos. A continuación se presentan la gráfica de carga- deflexión y las formas de falla de cada una de las vigas.

Las vigas CN1 y CN2 fueron desechadas por problemas en la obtención de datos.

En la figura 4.8 se puede observar la gráfica carga-deflexión de la viga CN3. En esta se aprecia que la carga máxima resistente fue de 10,096.676 kg.

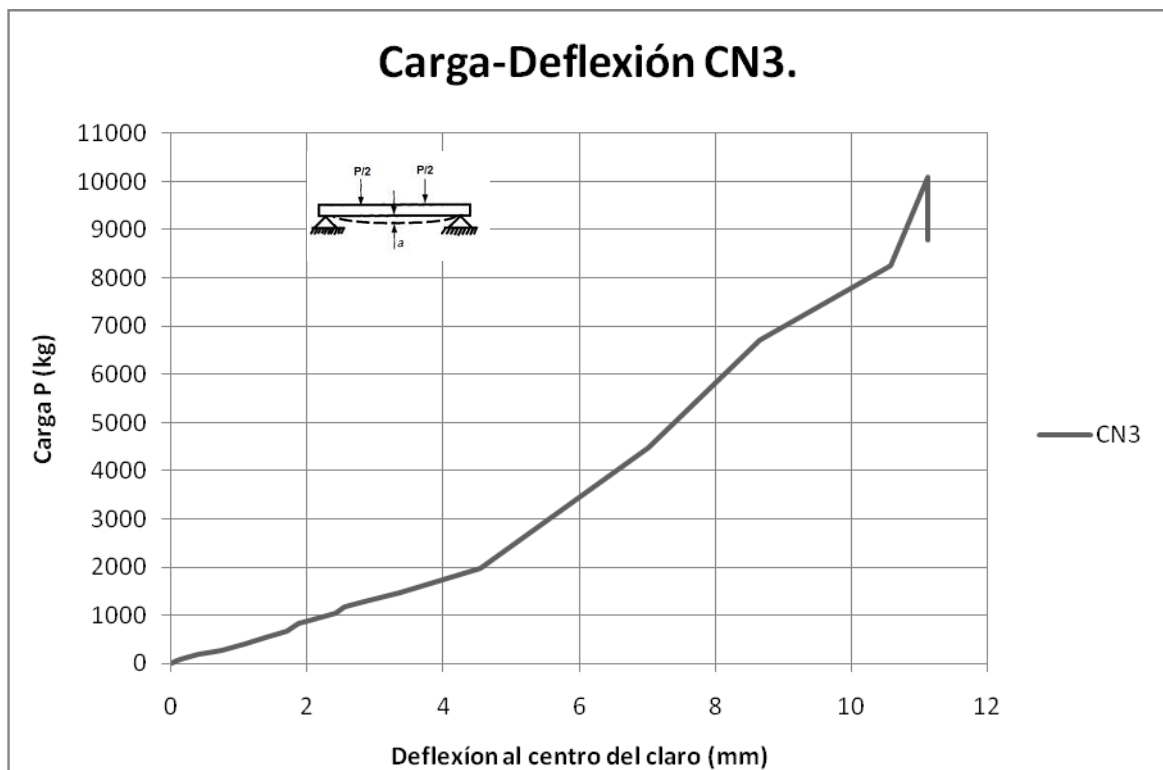


Figura 4.8 Gráfica Carga-Deflexión CN3.

En la figura 4.9 se aprecia el patrón de grietas de la viga CN3, estas grietas son de forma inclinada y aparecieron súbitamente, se extendieron hasta causar el colapso de la viga, por lo que la falla es denominada falla en tensión diagonal.

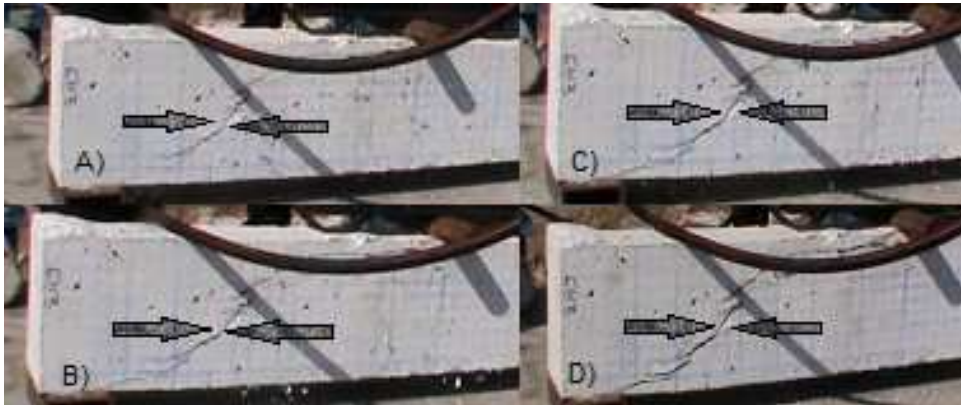


Figura 4.9 Patrón de grietas de la viga CN3.

En la figura 4.10 se muestra la gráfica Carga-Deflexión obtenida en el ensaye de las vigas de concreto reciclado (CR), las cargas máximas obtenidas de las vigas CR1, CR2 Y CR3, son de 9,365.364 kg, 9,292.232 kg y 8,701.600 kg respectivamente.

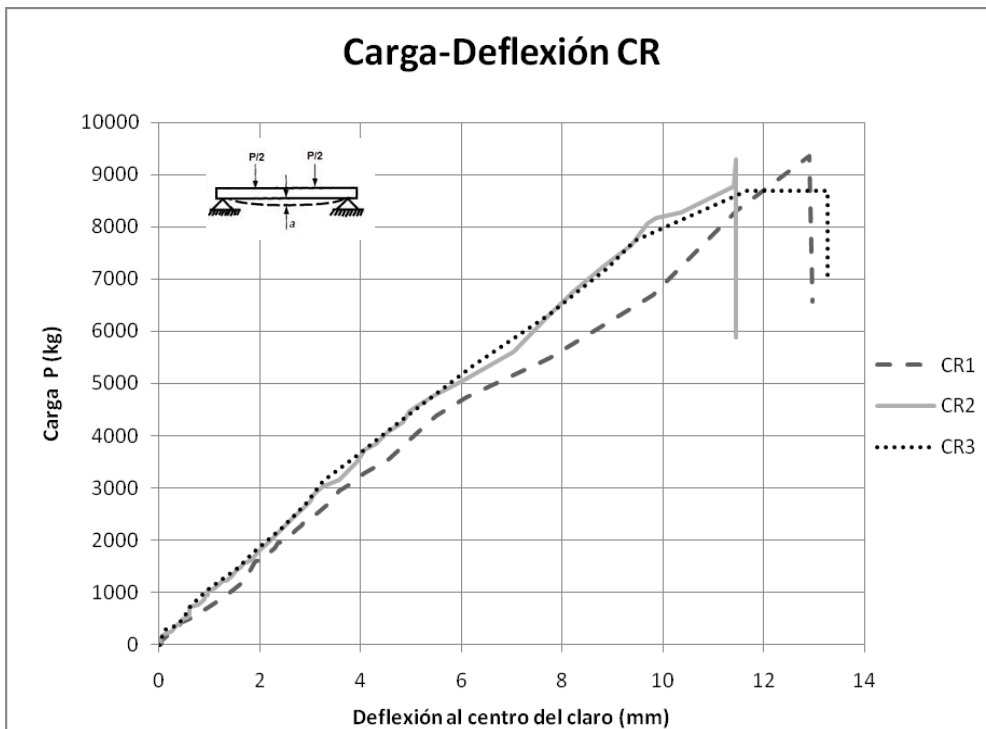


Figura 4.10 Gráfica Carga-Deflexión CR.

Las grietas que aparecieron en las vigas CR1, CR2 y CR3, fueron grietas de forma diagonal y estas se extendieron inmediatamente causando la falla de las vigas, a este tipo de falla se le denomina falla en tensión diagonal. El patrón de grietas presentado en las vigas CR1, CR2 y CR3 se presenta en las figuras 4.11, 4.13 y 4.14 respectivamente.

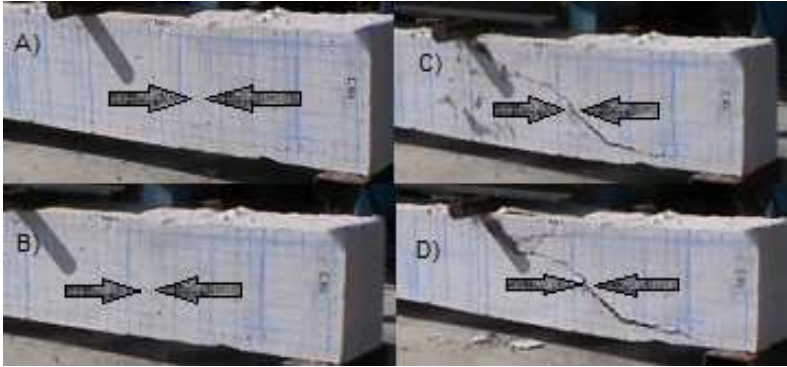


Figura 4.11 Patrón de grietas de la viga CR1.

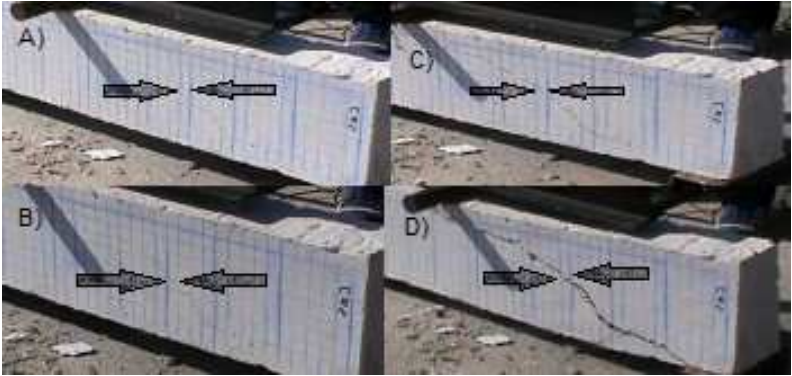


Figura 4.12 Patrón de grietas de la viga CR2.

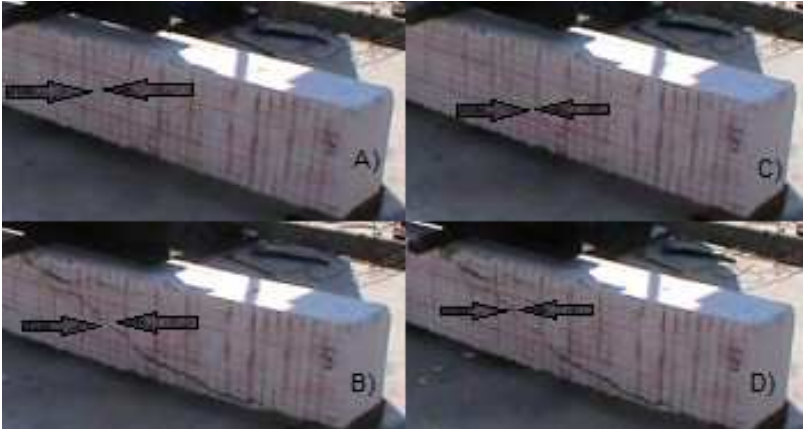


Figura 4.13 Patrón de grietas de la viga CR3.

Las cargas máximas resistentes de las vigas CRM1, CRM2 CRM3 fueron de 7,476.031 kg, 8,940.700 kg y 8,215.300 kg respectivamente, en la figura 4.14 se puede ver la gráfica carga-deflexión de las vigas de concreto reciclado mejorado obtenidas en el ensaye de las vigas.

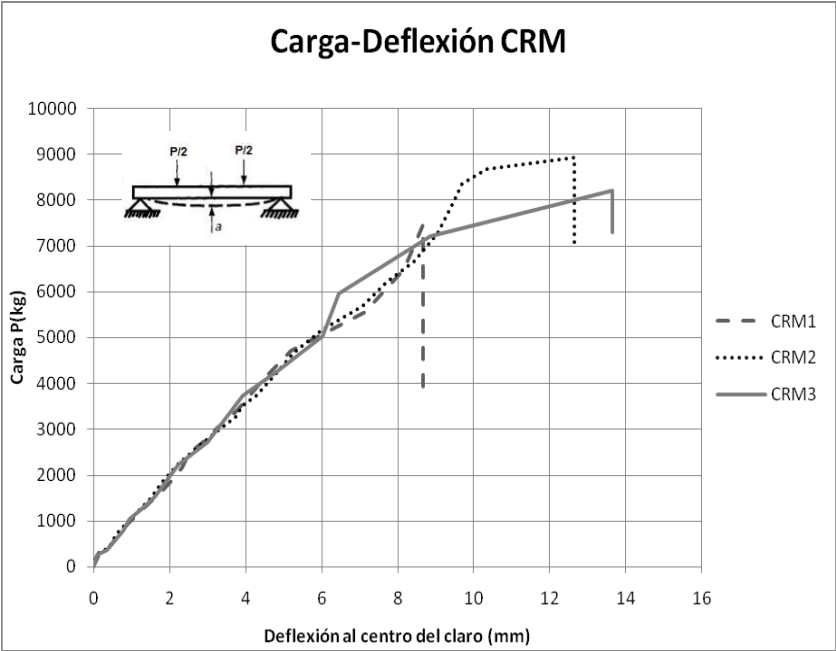


Figura 4.14 Gráfica Carga-Deflexión CRM1.

En la la figura 4.15 se puede apreciar que la falla fue debido alto contenido de recubrimiento en uno de los extremos figura 4.15 A) y B), sin embargo, se alcanzó a presentar la falla por tensión diagonal figura 4.15 C).

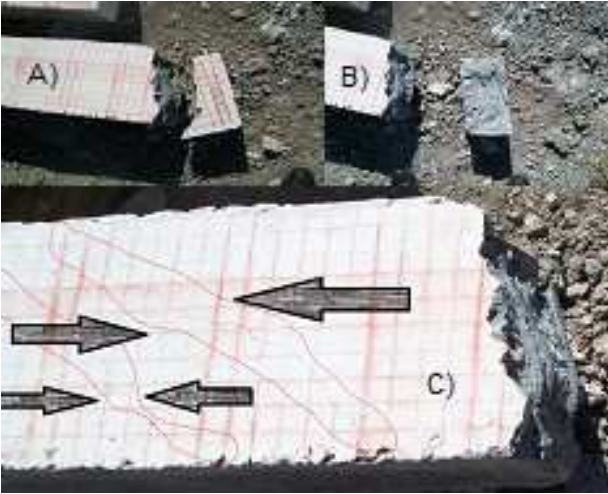


Figura 4.15 Patrón de grietas de la viga CRM1.

La grietas presentadas en esta prueba, fueron dos grietas en el centro de la viga cruzadas, parecidas a la falla por flexión en vigas sobre-reforzadas, este tipo de falla seguramente se presentó porque uno de los apoyos redondos colocados debajo del IPR se movió, como se muestra en la figura 4.16.



Figura 4.16 Patrón de grietas de la viga CRM2.

El tipo de falla presentado en esta prueba fue en tensión diagonal, ya que aparecieron grietas súbitamente de forma inclinada, como se observa en la figura 4.17.

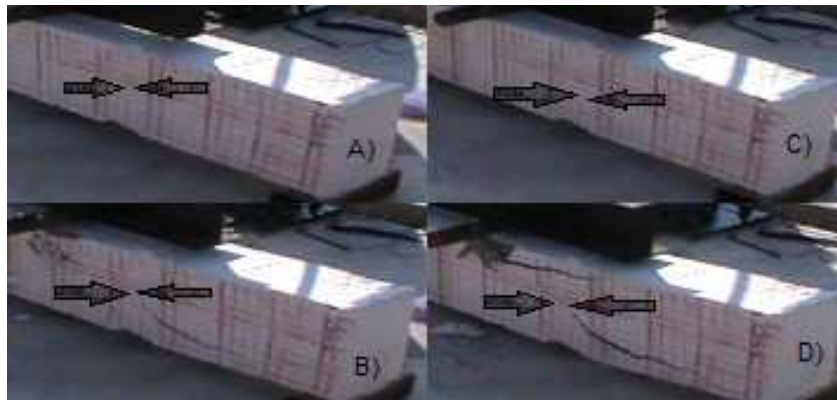


Figura 4.17 Patrón de grietas de la viga CRM3.

La figura 4.18 muestra la comparativa de la viga de concreto natural y las vigas de concreto reciclado, en esta se aprecia que las vigas de concreto reciclado tienen una carga máxima de aproximadamente un 10% menos que la viga de concreto natural.

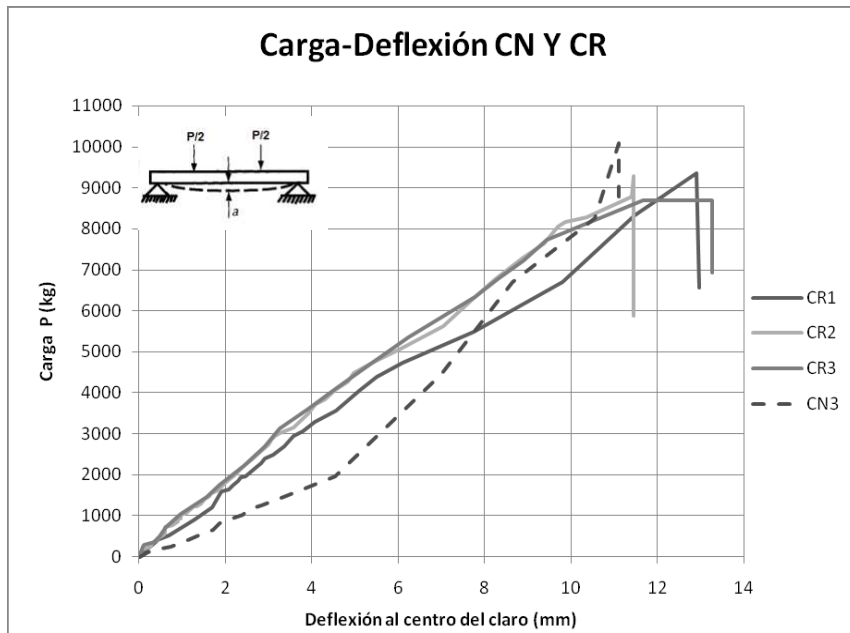


Figura 4.18 Gráfica Carga-Deformación del CN y CR.

La figura 4.19 presenta la comparativa de la viga de concreto natural y las vigas de concreto reciclado mejorado, en esta se puede ver que las vigas de concreto reciclado mejorado tienen una carga máxima de aproximadamente un 20% menos que la viga de concreto natural.

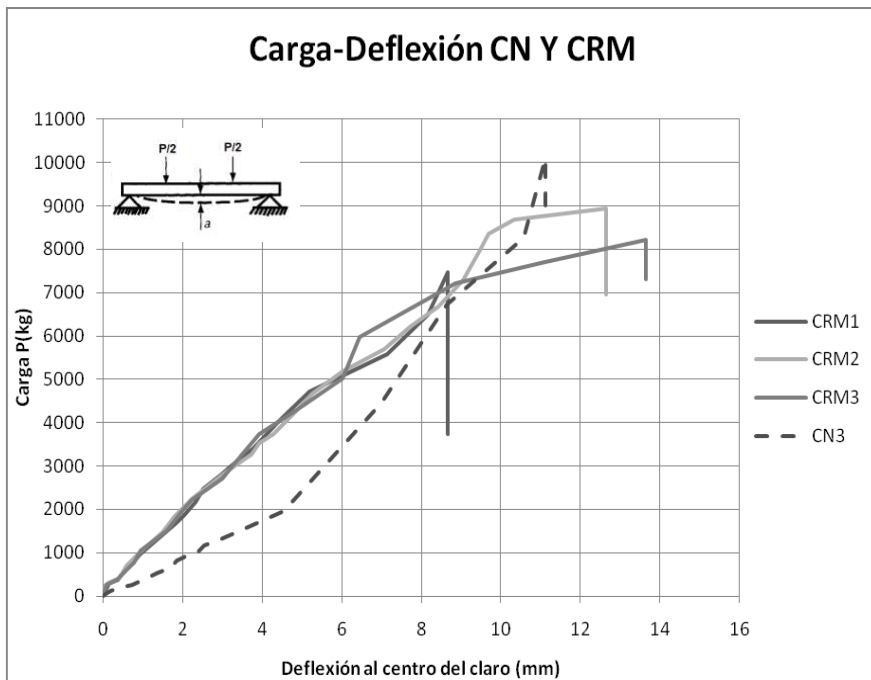


Figura 4.19 Gráfica Carga-Deformación del CN y CRM.

La figura 4.20 muestra la comparativa de las vigas de concreto reclado y las concreto reciclado mejorado, en esta se aprecia que las vigas de concreto reciclado mejorado tienen una carga máxima de aproximadamente un 10% menos que la viga de concreto reciclado, a pesar de la adición del humo de silice, el cual se esperaba que esta viga resistiera una carga mayor que la del concreto reciclado.

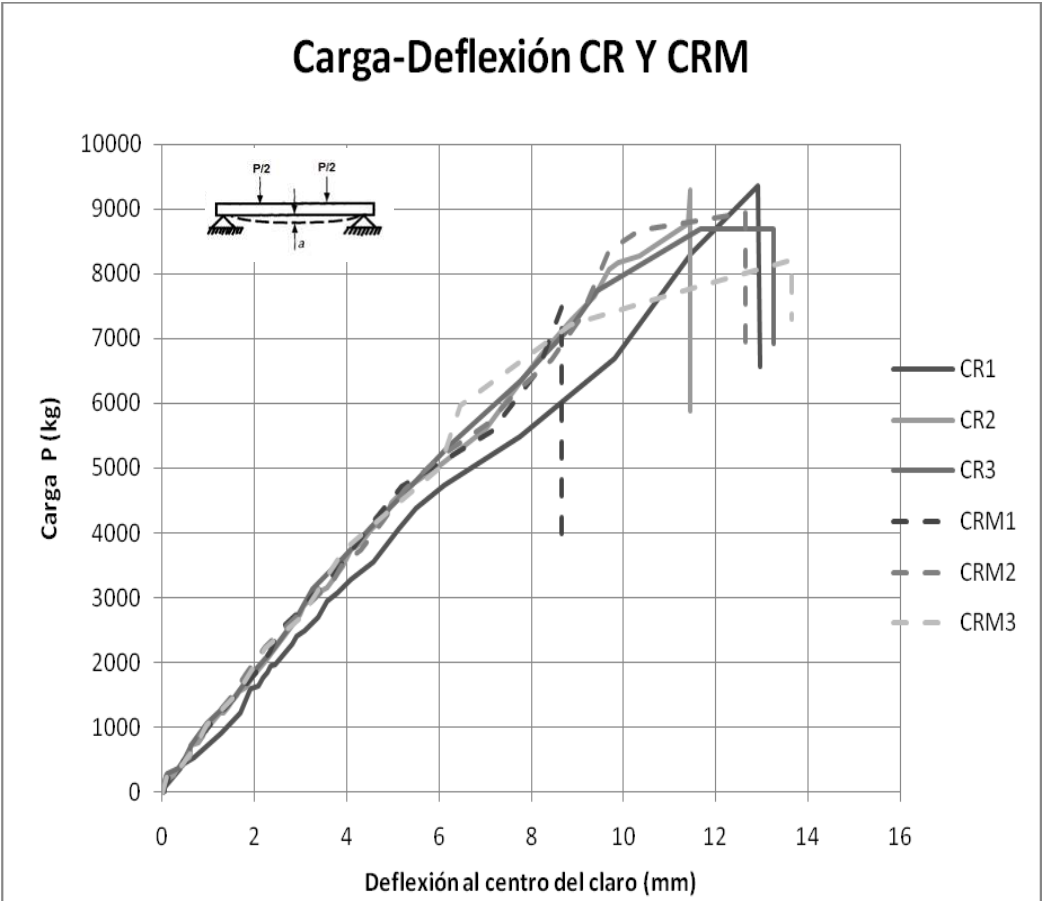


Figura 4.20 Gráfica Carga-Deformación del CR y CRM.

La tabla 4.4 muestra la comparativa de las vigas de concreto reclado y las concreto reciclado mejorado, en esta se aprecia que las vigas de concreto reciclado mejorado tienen una carga máxima de aproximadamente un 10% menos que la viga de concreto reciclado, a pesar de la adición del humo de silice, el cual se esperaba que esta viga resistiera una carga mayor que la del concreto reciclado.

Tabla 4.4 Resistencia a flexión de las vigas.

Espécimen	Carga (kg)
CN3	10,096.68
CR1	9,365.36
CR2	9,292.23
CR3	8,701.60
CRM1	7,476.03
CRM2	8,940.70
CRM3	8,215.30

4.2.3.2 Vigas a cortante.

La resistencia teórica a cortante de las vigas fue obtenida mediante las NTCDF-2004. En la tabla 4.5 se muestran los valores últimos teóricos y prácticos obtenidos en la prueba.

Tabla 4.5 Resistencia a cortante de las vigas.

Espécimen	V (kg)
NTCDF	3,852.228
NTCDF(SC)	4,815.285
CN3	5,048.338
CR1	4,682.682
CR2	4,646.116
CR3	4,350.800
CRM1	3,738.015
CRM2	4,470.350
CRM3	4,107.650

La figura 4.21 muestra la gráfica de la fuerza cortante resistente, además de los valores teóricos obtenidos a cortante de acuerdo a las normas técnicas complementarias del Distrito Federal, en la cual se puede apreciar que todas las pruebas pasan lo estimado por dichas normas a excepción de la prueba CRM1 está por debajo del valor estimado.

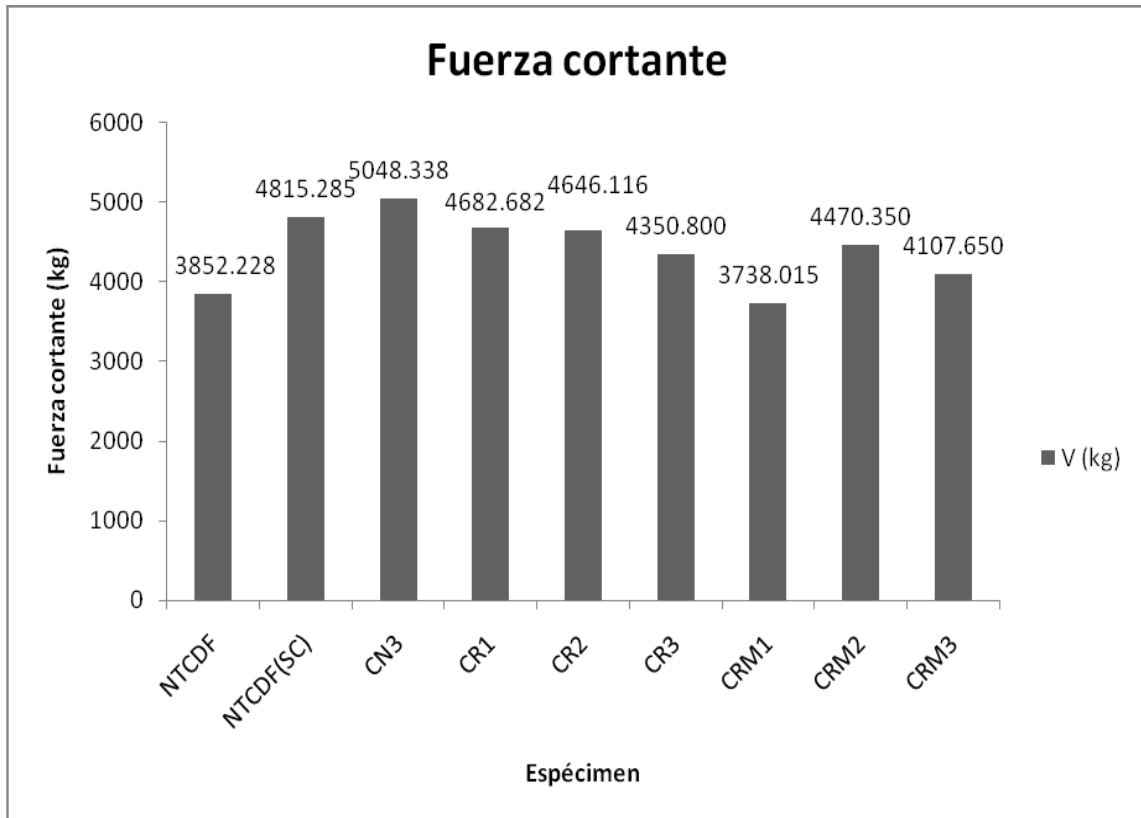


Figura 4.21 Gráfica de fuerza cortante.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.

En este capítulo se muestra las suposiciones o deducciones derivadas de los resultados mostrados en el capítulo 4.

5.1 De los materiales y procedimientos de preparación.

En este trabajo se demuestra que mediante el diseño de la mezcla (utilización de ACI 211), tomando en cuenta la características de los materiales, tales como: granulometría, absorción, densidad y peso volumétrico en agregados finos y gruesos, se puede obtener la resistencia deseada en el concreto, para concretos con un $f'c < 250 \text{ kg/cm}^2$.

Una de las características encontradas en el agregado reciclado fue su mayor capacidad de absorción, comparada con el agregado fuente o normal (7.91 y 0.91 respectivamente), lo que originó que se tuviera cuidado en los ajustes de cantidades de agua para la relación agua/cemento.

La densidad del agregado reciclado es menor que la de los materiales naturales, esto es posiblemente por el contenido de pasta de cemento en el material reciclado disminuye la densidad global del agregado, así como su peso volumétrico del material reciclado.

5.2 Propiedades en estado fresco.

Que la trabajabilidad fue muy similar en todas las pruebas, ya que con de la prueba de trabajabilidad en campo se controló la manejabilidad de la mezcla.

El peso volumétrico en estado fresco se ve disminuido cerca de un 3% en el concreto reciclado y cerca de un 5% en el concreto reciclado mejorado.

5.3 Propiedades en estado endurecido.

Se determinó que la resistencia a la compresión del concreto reciclado resulto ser cerca de un 5.6% mayor que el concreto natural, lo cual concuerda con otra investigación (Martínez Soto y Mendoza Escobedo, 2006), y el concreto reciclado mejorado, es decir con la adición del humo de sílice, fue mayor cerca de un 23.3% con respecto al concreto natural.

En cuanto al módulo de ruptura se concluye que tanto el concreto natural como el concreto reciclado mejorado son similares, pero el concreto reciclado tiene un menor módulo de ruptura.

5.4 Patrón de grietas en vigas.

El patrón de grietas que se formaron en las vigas CN3, CR1, CR2, CR3 y CRM3 de las siete que se probaron, fueron grietas en forma diagonal, comenzando en el punto de aplicación de la carga extendiéndose inmediatamente hasta los apoyos causando la falla de los elementos, a este tipo de falla se le denomina falla por tensión diagonal y aparece en elementos en los que predomina la fuerza cortante. Estos elementos no presentaron grietas verticales (flexión), debido a que el modelo de la viga era sobre-reforzado y con poco acero a cortante.

La falla que presentó la viga CRM1 seguramente fue al alto contenido de recubrimiento en uno de los apoyos, sin embargo, se alcanza a observar la presencia de la grieta diagonal (falla por tensión diagonal), por lo que su carga máxima no está muy lejana de lo registrado.

Las fallas presentadas en la viga CRM2 fue una falla típica de elementos sobre-reforzados en donde la zona de aplastamiento del concreto es grande.

5.5 Resistencia a cortante en vigas.

Respecto a la resistencia al esfuerzo cortante máximo resistente, todas las vigas excepto la viga CRM1 tienen resistencias aceptables comparadas con los parámetros de NTCDF. Sin embargo, contrariamente a lo que se esperaba la adición del humo de sílice (CRM) a pesar de que aumenta la resistencia a compresión del concreto reciclado en cilindros de concreto, el comportamiento a fuerza cortante en el modelo de viga sobre-reforzada se ve disminuido cerca de un 20% con respecto al concreto natural (CN) y en un 10% respecto con el concreto reciclado (CR), esto debido seguramente por el patrón de grietas presentado en las vigas CRM a la posible mala colocación del acero.

5.6 Futuras líneas de investigación.

Sería interesante realizar estudios con agregados reciclados con un determinado contenido de contaminantes tales como ladrillo, yeso, cerámicos, plásticos, etc. Para estudiar los efectos producidos por estos contaminantes en las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las mezclas. Sobre materiales de la región siguiendo los lineamientos que se han dado en Alemania (Kerkhoff y Siebel, 2001).

Estudios sobre durabilidad del concreto reciclado, así como el comportamiento del concreto reciclado frente la acción de ataques por sulfato, u otras sustancias químicas

Estudio de las propiedades mecánicas de concretos realizados con agregado reciclado y cementante geopolimérico.

BIBLIOGRAFÍA

ACI 211 Standard practice for selecting proportions for normal, heavy weight and mass concrete. ACI Manual of concrete practice, part1, 1991.

ACI 232.1R Use of natural pozzolans in concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

ACI 232.2R Use of fly ash in concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

ACI 234R Guide for the use of silica fume in concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

ACI 234R-96 Guide for the Use of Silica Fume in Concrete Reported.

ASTM C29 Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate.

ASTM C33 Standard Specification for concrete Aggregate.

ASTM C39, Standard Method of Test "Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens".

ASTM C78, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).

ASTM C127 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate

ASTM C128 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of fine.

ASTM C138 Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.

ASTM C143 Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.

ASTM C1240 Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures.

Bedoya Montoya Carlos (2003). El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles. Tesis de grado (magister em hábitat). Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Colombia.

Centeno R., Duarte F., Castillo W., Chim S. (1994). Propiedades mecánicas del concreto elaborado con agregados pétreos de la península de Yucatán. "Boletín académico FIUADY," (México), (25), p.35.

Cetin A., Carrasquillo R. (1998). High-performance concrete: influence of coarse aggregates on mechanical properties. "ACI Materials journal," (U.S.A.), 95 (3), p. 253.

Corinaldesi Valeria y Moriconi Giacomo. Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate. . Construction and Building Materials, August 2007- January 2009.

Cortinas de Nava Cristina (2004). Manual de capacitación para minimizar residuos a nivel municipal, a través de reducir, reutilizar y reciclar (3r).

Cortina Ramírez José (2007). Guía para el manejo de residuos sólidos generados en la industria de la construcción. Tesis de grado (Maestría en gerencia de proyectos de construcción. Universidad de las Américas Puebla.

- Cruz García Jorge A, Velázquez Náñez Ramón. Tesis, Concreto reciclado, Asesor ing. Mario Castro Usla. 2004. Instituto Politécnico Nacional. Escuela superior de Ingeniería y Arquitectura. 2004.
- Etzeberria M., Marí A.R y Vázquez E. (2007). Recycled aggregate concrete as structural material. *Materials and Structures* vol. 40, pp 529-541.
- González Fonteboa B. y Martínez Abella F. (2005). Recycled aggregates concrete: aggregates and mix properties. *Materials de Construcción*. Vol. 55, pp. 53-66.
- González Fonteboa B. y Martínez Abella F. (2007). Shear strength of recycled concrete beams. *Construction and Building Materials*. Vol. 21, pp. 887-893.
- González Fonteboa Belén, Martínez-Abella Fernando, Martínez-Lage Isabel, Eiras-López Javier. Structural shear behaviour of recycled concrete with silica fume. *Construction and Building Materials*, July 2008- July 2009.
- González G. Juan Fernando (2006). Reciclar es lo de hoy. *Construcción y tecnología (imcyc)*. Páinas 42-46.
- Hansen Torben (1983). Strength of recycled concrete made form crushed concrete coarse aggregate. *Concrete International- January 1983*, pp. 79-83, EEUU.
- Hernández Moreno, Silverio. Diseño sustentable de materiales de construcción; caso del concreto de matriz de cemento portland. *Ciencia Ergo Sum*, Noviembre 2008-2009/vol. 15, número 003. Universidad Autónoma de México, Toluca, México. Pp. 306-310.

Kerkhoff, B., and Siebel, E. (2001), "Properties of Concrete with Recycled Aggregates (Part 1)," *Beton*, January, pages 47-50.

Kerkhoff, B., and Siebel, E. (2001), "Properties of Concrete with Recycled Aggregates (Part 2)," *Beton*, February, pages 105-108.

Khaldoun Rahal. Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate. . *Construction and Building Materials*, April 2005-29 July 2005.

Kumar Mehta P. y J.M. Monteiro Paulo. "Concreto estructura, propiedades y materiales". Primera edición 1998. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

Limbachiya M.C, Leelawat T y Dhir R.K (2000). Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete. *Materials and Structures*, vol. 33, pp. 574-580.

López Gayarre Fernando (2008). Influencia de la variación de los parámetros de dosificación y fabricación de hormigón reciclado estructural sobre sus propiedades físicas y mecánicas. Tesis doctoral (doctor Ingeniero Industrial). Universidad de Oviedo.

Martínez Soto y Mendoza Escobedo (2006). Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. VII, número 003, pp. 151-164.

Mercante I., Bovea Edo., Arena P. y Martinengo P. (2009). Estudio comparativo de los aspectos técnicos entre la legislación de RCD en España y América Latina. II simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Barranquilla, 24 y 25 de Septiembre de 2009.

Muñoz Jorge (1975). Utilización de desechos de concreto como agregado grueso. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2004.

Neville A. Aggregates bond and modulus of elasticity of concrete. "ACI Materials journal," (U.S.A.), 1997, 94 (72), p.72.

Neville, Adam M. Tecnología del concreto. Primera edición 1999, IMCYC, A. C., México. 163.

Poon, C.S y Chan D (2005). Effects of contaminants on the properties of concrete paving blocks prepared with recycled concrete aggregates. Construction and Building Materials, Vol. 21, pp. 164-175.

Poon C.S, Kou S.C y Lam S (2002). Use of recycled aggregates in moulded concrete bricks and blocks. Cement and Concrete Research, vol. 16, pp. 281-289.

Poon C.S y Z.H. Shui. Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates. Construction and Building Materials. Marzo 2004.

Rolón Aguilar J. C., Nieves Mendoza D., Huete Fuertes R. , Blandón González B., Terán Gilmore A. y Pichardo Ramírez R. Characterization of concrete made with recycled aggregate from concrete demolition waste. Materiales de Construcción, Vol. 57, 288, 5-15. Octubre-Diciembre 2007.

Sánchez de Juan Marta y Alaejos Gutiérrez Pilar. Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. Construction and Building Materials, October 2006- June 2008.

Tavakoli M. y Soroushian P. (1996). Strengths of recycled aggregates concrete made using field demolished concrete as aggregate. ACI Materials Journal vol. 93, pp 182-190.

Vasconcelos Nora (2010). E.U, Japón y Europa reciclan los desperdicios del concreto. Los desperdicios de construcción pueden ser reutilizados y ayudar al medio ambiente. Diario el universal.

W.Y. Vivian, Tam C.M. y Wang. Optimization on proportion for recycled aggregate in concrete using two-stage mixing approach. Construction and Building Materials. September 2005- September 2006.

Yang, K; Chung, H y Ashour A (2008). Influence of type and replacement of recycled aggregates on concrete properties. Materials Journal May/June 2008, pp. 289-296, EEUU.

www.acimexicosc.org (Revista ACI Centro y Sur México.)

www.cmcyc.com.

www.concretosrecicladados.org.

www.gerd.es.

www.jisc.go.jp/eng/

www.jsce-int.org/

www.nrmca.org.

APÉNDICE.

Apéndice I: Granulometría para la arena. (Norma ASTN C33).

La granulometría se obtuvo a partir de la norma ASTM C 33 su procedimiento es el siguiente:

1. Cuartearemos el material y tomaremos una muestra representativa de 500 gr. Simultáneamente tomaremos una muestra de 200 gr para corregir por humedad.
2. Colocaremos la arena en el vaso de aluminio para saturar (Podrá utilizarse el método de inmersión en agua por 24 hr o bien el de ebullición por 30 minutos).
3. Después de saturar el material lo lavamos, agitando con la varilla en forma de ocho durante 15 segundos, dejamos que repose 30 segundos y decantamos el agua sobre la malla 200.
4. Agregaremos agua y repetimos el procedimiento hasta que el agua que pase a través de la malla pase limpia.
5. Se lava el material que se retuvo en la malla No. 200 y se regresa al vaso.
6. Después de este procedimiento decantamos el agua sobrante sin tirar arena y la ponemos a secar en la parrilla, ya sea en el mismo vaso o en una charola redonda, teniendo cuidado de no perder material al vaciado. El secado se hará a fuego directo (fuego lento).
7. Determinamos el peso de la muestra seca-lavada y vaciaremos el material en las mallas previamente colocadas en columna empezando por la de mayor abertura. Procederemos al cribado agitando la columna ya sea en forma manual o con vibrador automático, para terminar con un cribado manual en cada malla.
8. Pesaremos las fracciones y elaboraremos una tabla de cálculo.
9. Al estar cribando deberemos tener cuidado de no tirar las partículas de la muestra para evitar errores en los pesos retenidos.

10. Determinar el error de pesada que es la diferencia entre la suma y el peso seco lavado entre el peso seco lavado.
11. Determinar el % de limos y arcillas.
12. Determinación del módulo de finura. Es la suma de % retenidos acumulados hasta la malla número 100 dividido entre 100.
13. Se grafican los porcentajes retenidos (eje y) contra el tamaño de malla (eje x).

Cálculos y resultados.

Nota: los resultados están realizados en una hoja de cálculo en el programa Excel.

Granulometría.

Arena.

peso de muestra= 561 gramos

Malla No.	Peso retenido parcial(gr)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% que pasa.
8	3.20	0.62	0.62	99.38
16	15.00	2.92	3.54	96.46
30	92.80	18.07	21.62	78.38
50	330.70	64.40	86.02	13.98
100	60.00	11.68	97.70	2.30
200	11.80	2.30	100.00	0.00
Suma	513.50	100.00	-----	-----
Charola	3.00		-----	-----
Suma	516.50			

Cálculo de la humedad.

Peso inicial= 213.2 gr

Peso seco= 207.9 gr

Agua= 5.3 gr

%w= 2.55

$$w\% = \frac{Pw - Ps}{Ps} \times 100$$

Donde:

Pw = peso húmedo del material. (gr)

Ps = peso seco del material. (gr)

Pw-Ps = peso del agua. (gr)

% de grava en la arena

Peso retenido en malla No4= 14.1 gr

Peso total= 1381.5 gr

% de grava en la arena= 1.02 %

VERDADERO

% de grava en la arena <5% por especificación.

Corrección al peso inicial:

Peso inicial= 561 gr

%w= 2.55

PIC= 547.1 gr

$$PIC = \frac{\text{peso inicial}}{1 + \frac{\%w}{100}}$$

Peso seco lavado corregido.

Peso seco lavado= 521.6 gr

Charola= 3 gr

PSLC= 518.6 gr

$$PSLC = \text{Peso seco lavado} - \text{peso del material en la charola}$$

Error de pesada.

Error de pesada= 0.98 % VERDADERO

Error de pesada <1% por especificación.

% de limos y arcillas.

% de limos y arcillas= 5.0 % VERDADERO

% de limos y arcillas <5% por especificación.

Módulo de finura.

Suma de% retenidos acumulados hasta la malla 100 divididos entre 100

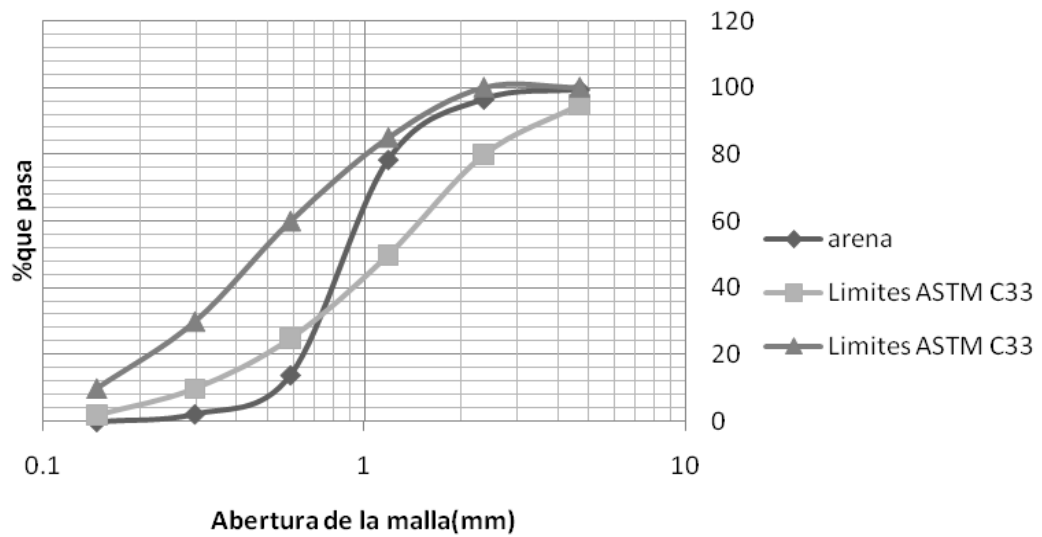
Módulo de finura= 2.10
 Clasificación= 1

M.F	Clasificación.
<2.3	Arenas finas.
2.3-3.1	Arenas medias
>3.1	Arenas gruesas.

1
2
3

Mallas	Mallas(mm)	Retenidos acumulados
4	4.70	0.00
8	2.36	0.62
16	1.19	3.54
30	0.59	21.62
50	0.30	86.02
100	0.15	97.70
200	0.07	100.00
Charola		-----
M.F		2.10

Gráfica de composición granulométrica de la arena.



Apéndice II: Densidad y Absorción de la arena. (Norma ASTN C128).

El procedimiento para determinar la densidad y absorción de la arena (Norma ASTM C128) es el siguiente:

1. Calibrar el matraz; colocando agua en el matraz hasta el nivel aforo para determinar su peso y temperatura.
2. Se cuarteo el material.
3. Se obtendrá una muestra representativa de más o menos 2 kg de material que pase por la malla No 4, después de haber cuarteado la muestra.
4. Colocar el material en la charola rectangular y saturar con agua a temperatura ambiente durante 24 hrs.
5. Después de cumplirse el tiempo de saturación, colocamos la charola sobre la parrilla y empezamos a evaporar el agua por ebullición hasta lograr que no se observe agua libre, pero si humedad aparente. Será necesario remover constantemente el material de la charola con la espátula con el fin de evitar la calcinación de las partículas finas.
6. Después de que ya no se observe agua libre, retiramos la charola de la parrilla y con una corriente de agua o con la espátula seguiremos evaporando agua tratando de buscar la condición de saturado y superficialmente seco.
7. Colocamos arena húmeda dentro del molde tronco-cónico para verificar la existencia de humedad libre, compactamos 25 veces con el pisón sin hacer presión, es decir la compactación se realizará por peso propio del pisón y en una sola capa. Levantamos el molde en forma vertical y la forma del tronco-cónico será retenida por la arena, en caso de que este sobresaturada.
8. Pondremos nuevamente la charola sobre la parrilla al fuego lento y seguiremos aplicando aire para evaporar agua de tal manera que después

de varios intentos la arena no retendrá la forma del tronco-cono y se formará un cono la muestra estará en la condición saturada y superficialmente seco (S.S.S).

9. Tomaremos 200gr de arena en la condición (S.S.S) y en una charola redonda y procedemos a secar el material hasta obtener el peso seco constante. (peso seco)
10. Simultáneamente colocaremos 200 gr de arena en el matraz aforado de 500 c.c. vaciaremos la arena con un embudo en el matraz, el contenido de agua será la mitad o menos de su volumen.
11. Colocaremos el matraz en la bomba de vacío para extraer el aire y después aforaremos hasta el nivel y pesamos el matraz con el material y el agua.
12. Se verificará nuevamente que la temperatura antes de pesar y se revisará que no esté húmedo el matraz en la parte de afuera y parte superior del nivel de aforo, por dentro.

Cálculos y resultados.

Densidad de la arena

$$\text{Absorción} = \frac{P_w - P_s}{P_s} \times 100$$

Pw=Peso húmedo del material en condición (S.S.S) en gr= 200 gr

Ps=Peso del material (peso constante en gr= 187 gr

$$\text{Absorción} = 6.95187166$$

$$\text{Peso específico relativo (densidad)} = \frac{P_s}{(P_s + P_m + \text{AGUA}) - (P_M + m + \text{AGUA})}$$

PM=Peso de matraz= 241.1 gr

MPeso de la muestra en condición(S.S.S)= 200 gr

(Ps+PM+AGUA)=peso del material seco a peso constante+peso del matraz hasta nivel de aforo a T grados c. 923.98 gr

(PM+M+AGUA)= peso del matraz+ material en condición(S.S.S) + agua hasta el nivel de aforo a t grados c- 852.1 gr

PESO MATRAZ CON AGUA 736.98 gr

Peso específico relativo= 2.60155815

Apéndice III: Determinación del peso volumétrico suelto y compacto de la arena. (Norma ASTN C29).

Procedimiento para el peso volumétrico suelto de la arena (norma ASTM C29).

1. Se cuartea el material.
2. En forma representativa se toma material con el cucharón, con la brocha se recogen los finos, y se depositan en un recipiente con una altura de caída de cero cm, se llena hasta el nivel de derrame.
3. Se enrasa la arena con regla metálica (rasero).
4. Se enrasa la grava con la mano compensando los huecos con las salientes.
5. Se pesa el recipiente con el material.
6. Se realiza tres veces el procedimiento con el objeto de tener al menos tres datos. Se repetirá la prueba si la diferencia excede de 30 kg/m^3 el peso volumétrico obtenido en la grava entre el valor menor y el mayor. Para la arena la tolerancia será de 10 kg/m^3 entre el valor menor y el mayor.
7. Se reportará el promedio.

Procedimiento para el peso volumétrico compacto de la arena y la grava.

1. Se cuartea el material.
2. Se toma el material con el cucharón en forma representativa y se deposita en el recipiente distribuyendo el material de manera uniforme, el llenado será hasta $1/3$ del volumen del recipiente.
3. Se aplican 25 golpes (piquetes) con la varilla punta de bala distribuidos en toda el área. La velocidad de aplicación de los piquetes deberá ser moderada (ni muy rápida ni muy lento).
4. Se llena a $2/3$ partes de volumen del recipiente, se aplican 25 golpes (piquetes) con la varilla punta de bala distribuidos en toda el área. Sin penetrar en su totalidad la primera capa ($\pm 1 \text{ cm}$).
5. Se llena hasta el nivel de derrame y se varilla como se indicó en los incisos 3 y 4.

6. Se enrasa con la regla metálica. (rasero)
7. Se enrasa la grava con la yema de los dedos sin hacer presión compensando los huecos con las salientes.
8. Se pesa el recipiente con el material.
9. Se realiza tres veces el procedimiento con el objeto de tener al menos tres datos. Se repetirá la prueba si la diferencia excede de 30 kg/m^3 el peso volumétrico obtenido en la grava entre el valor menor y el mayor. Para la arena la tolerancia será de 10 kg/m^3 entre el valor menor y el mayor.
10. Se reportará el promedio.
11. Se pesan aproximadamente 500 gr de grava y 200gr de arena y se secan en la parrilla a fuego directo para obtener el peso constante (P_s).

Cálculos y resultados.

Calculo del porcentaje de humedad:

$$w\% = \frac{P_w - P_s}{P_s} \times 100$$

Donde:

P_w = peso húmedo del material. (gr)

P_s = peso seco del material. (gr)

$P_w - P_s$ = peso del agua. (gr)

Cálculo del peso volumétrico suelto (PVS):

$$PVS = \frac{\text{Peso del material contenido en el recipiente (kg)}}{\text{volumen del recipiente (lt)}} \times 1000$$

Donde:

PVS= peso volumétrico suelto (kg/m^3)

Cálculo del peso volumétrico compacto (PVC):

$$PVC = \frac{\text{Peso del material contenido en el recipiente (kg)}}{\text{volumen del recipiente (lt)}} \times 1000$$

Donde:

PVC = peso volumétrico compacto (kg/m^3)

Cálculos:

$$PVSC = \frac{\text{Peso volumétrico compacto}}{1 + \frac{\%w}{100}}$$

$$PVSS = \frac{\text{Peso volúmetrico suelto}}{1 + \frac{\%w}{100}}$$

Donde:

PVSC = Peso volumétrico seco compacto.

PVSS = Peso volumétrico seco compacto.

Arena.

diferencia < 10kg/m³

Cálculo del peso volumétrico suelto.

Peso del recipiente + material(kg)	Peso del recipiente(kg)	Peso neto del material(kg)	Volumen del recipiente (lt)	P.V.S.H (kg/m ³)	%w	P.V.S.S (kg/m ³)
7.7460	1.6577	6.0883	4.9000	1242.5102	3.2416	1203.4976
7.7790	1.6577	6.1213	4.9000	1249.2449	3.2416	1210.0208
7.7700	1.6577	6.1123	4.9000	1247.4082	3.2416	1208.2417
Promedio=				1246.3878	Promedio=	1207.2534

Corrección por humedad:

Peso charola	920.8 gr
Peso húmedo(Pw)=	442.7 gr
Peso seco(Ps)=	428.8 gr
Pw-Ps=Peso del agua	
%w=	3.2416

6.7347

Cálculo del peso volumétrico compacto.

Peso del recipiente + material(kg)	Peso del recipiente(kg)	Peso neto del material(kg)	Volumen del recipiente (lt)	P.V.C.H (kg/m ³)	%w	P.V.C.S (kg/m ³)
8.3650	1.6577	6.7073	4.9000	1368.8367	3.2416	1325.8577
8.3300	1.6577	6.6723	4.9000	1361.6939	3.2416	1318.9391
8.3520	1.6577	6.6943	4.9000	1366.1837	3.2416	1323.2879
Promedio=				1365.5714	Promedio=	1322.6949

7.1429

Apéndice IV: Granulometría para la grava y del agregado reciclado. (Norma ASTM C33).

La granulometría se obtuvo a partir de la norma ASTM C 33 su procedimiento es el siguiente:

1. Cuartearemos el material y tomaremos una muestra representativa de peso conocido (10 kg como mínimo con aproximación de 1 gr.).
2. Cribaremos el material por las mallas empezando por la de menor abertura en el siguiente orden No 4, 3/8", 1/2", 3/4", 1". El cribado lo haremos moviendo solamente los brazos y llevando la malla en forma horizontal y vertical alternada teniendo cuidado de no perder material durante el proceso y tener resultados incorrectos.
3. Daremos por terminado o cribado cuando a través de la malla no pase más del 1% en peso. Pero nunca deberemos de manipular los granos cuando se encuentran en la malla.
4. Pesaremos las fracciones y elaboraremos una tabla de cálculo.
5. Se determinará el error de pesada que es la diferencia entre el peso inicial y la suma de pesos retenidos parciales entre el peso inicial.
6. Graficamos el tamaño de la malla (eje x) contra los porcentajes retenidos acumulados.

Cálculos y resultados (Grava):

Grava. cv= 2937 gr
 Peso inicial= 12063 gr. cn= 2836 gr

Malla No.	Peso retenido parcial(gr)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% que pasa.
1"	0	0	0	100
3/4"	1216	10	10	90
1/2"	4780	40	50	50
3/8"	2307	19	69	31
No 4	3333	28	97	3
Pasa No 4	414	3	100	0
Suma	12050	100		

Malla No.	Malla (mm)	% Retenido acumulado
1"	25.4	0
3/4"	19.05	10
1/2"	12.7	50
3/8"	9.525	69
No 4	4.75	97
Pasa No 4	0	100

Tamaño nominal 19 mm

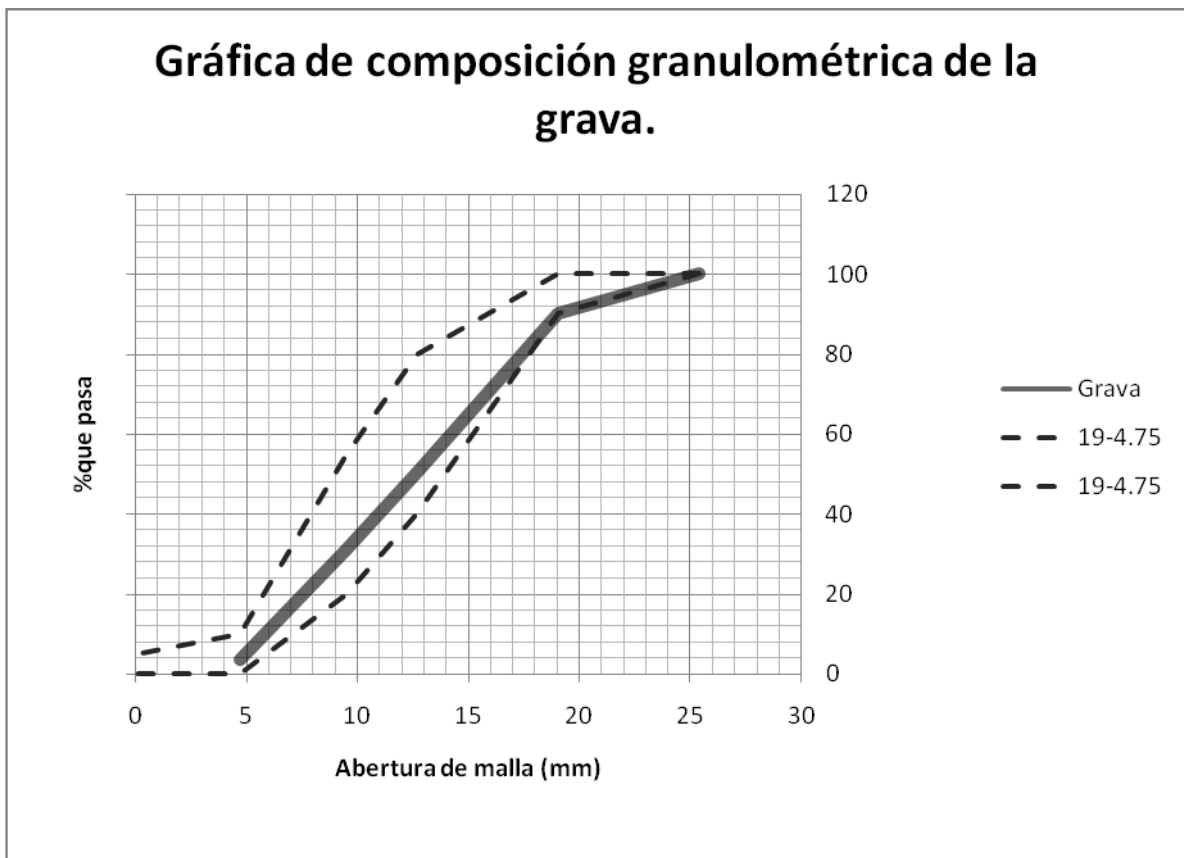
Error de pesada= $((\text{Peso inicial}-\text{suma de pesos retenidos parciales})/(\text{peso inicial}))\times 100$

Peso inicial= 12063 gr.

Suma de pesos retenidos parciales= 12050 gr

Error de pesada= 0.11 % VERDADERO

Error de pesada <1% por especificación.



Cálculos y resultados del agregado reciclado:

Agregado reciclado.

Peso inicial= 10000 gr.

Malla No.	Peso retenido parcial(gr)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% que pasa.
1"	162.90	2	2	98
3/4"	2513.80	25	27	73
1/2"	3348.60	34	60	40
3/8"	1610.10	16	76	24
No 4	2259.50	23	99	1
Pasa No 4	95.00	1	100	0
Suma	9989.90	100		

Malla No.	Malla (mm)	% Retenido acumulado
1"	25.40	2
3/4"	19.05	27
1/2"	12.70	60
3/8"	9.53	76
No 4	4.75	99
Pasa No 4	0.00	100

Tamaño nominal 19 mm

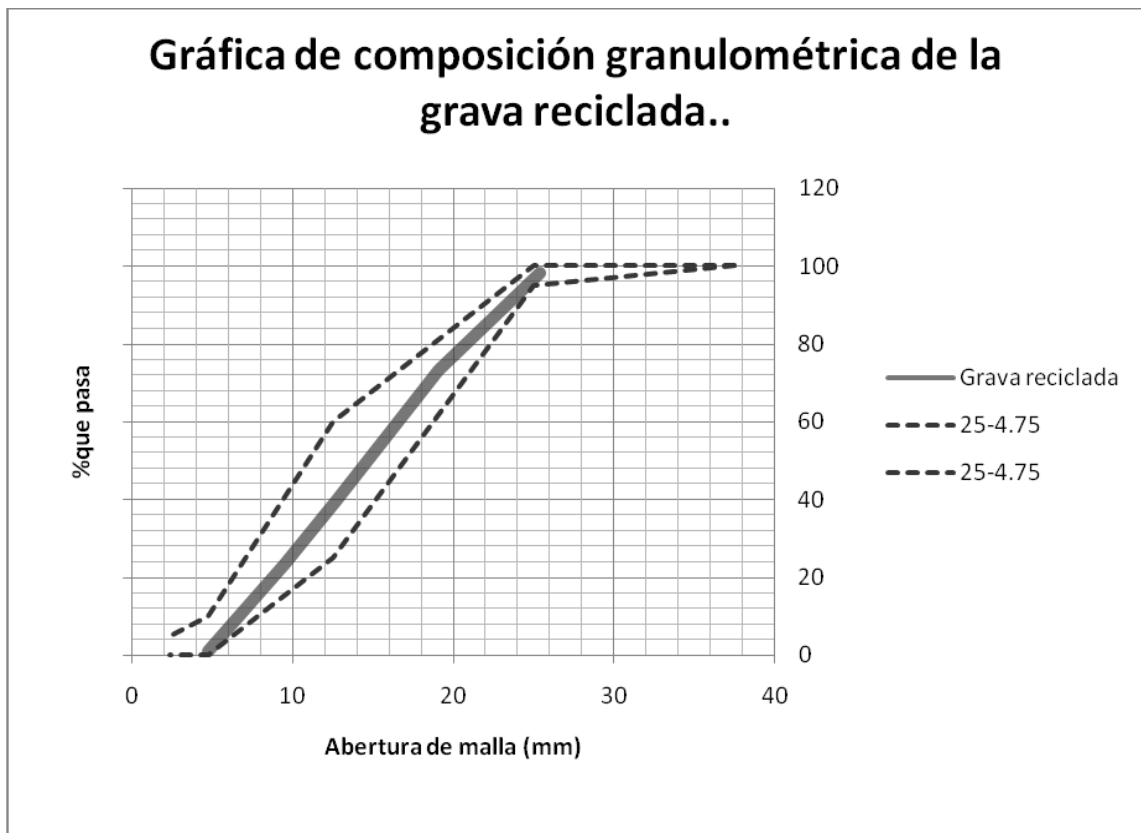
Error de pesada= $((\text{Peso inicial}-\text{suma de pesos retenidos parciales})/(\text{peso inicial}))\times 100$

Peso inicial= 10000 gr.

Suma de pesos retenidos parciales= 9990 gr

Error de pesada= 0.10 % VERDADERO

Error de pesada <1% por especificación.



**Apéndice V: Densidad y Absorción de la grava y del agregado reciclado.
(Norma ASTM C127).**

El procedimiento para determinar la densidad y absorción de la arena según la Norma ASTM C 127 es:

1. Tomaremos más o menos 1000 gr de grava la cual se retenga en la malla 3/8" y pase la malla 3/4".
2. Colocaremos la grava en un vaso de aluminio con agua y saturaremos durante 24 horas a temperatura ambiente.
3. Una vez saturado el material vaciaremos el material en la malla 3/8" y lo lavaremos con agua a chorro lento, se considera lavado el material hasta que el agua pase limpia a través de la malla.
4. Escurremos el material y lo depositamos en la franela húmeda exprimida.
5. Secaremos con la franela el material hasta que el brillo de la superficie desaparezca.
6. Pesaremos más o menos 500 gr de grava en la condición (S.S.S) y la colocaremos en un picnómetro el cual deberá estar preparado previamente. La colocación del material deberá hacerse despacio para evitar desalojar agua por la parte superior del picnómetro y se deberá de tener cuidado en no tocar el agua con los dedos.
7. Recibiremos el agua desalojada en una probeta de 250 ml de capacidad, el volumen deberá estimarse con una aproximación de 1 c.c (probeta de 100 ml).
8. Después de la lectura del volumen final, secaremos la grava y la colocaremos en una charola redonda para su secado a peso constante.
9. Mientras se seca la grava se volverá a calibrar el picnómetro y lo dejaremos preparado con la probeta. Pesaremos la grava anotando este valor, entonces la grava se colocará en el picnómetro como se realizó en el paso 6 y obtendremos el volumen desalojado. El volumen de absorción es la diferencia entre el volumen inicial menos el final.

Cálculos y resultados de la grava:

Densidad de la grava

Absorción

Pw=Peso húmedo del material en condición (S.S.S) en gr= 508.4 gr

Ps=Peso del material (peso constante en gr= 503.8 gr

Absorción= 0.9131

Peso específico relativo

Ps=peso seco del material= 503.8 gr

v=volúmen desalojado= 201 cm³ 201 ml

Peso específico relativo= 2.5065 gr/cm³ peso específico del agua = 1 gr/cm³

Peso específico relativo(densidad)= 2.5065

volúmen de absorción.

volúmen de absorción= 7 ml

v1=vol.inicial= 201 ml

v2=vol.final= 194 ml

Cálculos y resultados del agregado reciclado:

Densidad del reciclado

Absorción

Pw=Peso húmedo del material en condición (S.S.S) en gr= 536.1 gr

Ps=Peso del material (peso constante en gr= 496.8 gr

Absorción= 7.9106

Peso específico relativo

Ps=peso seco del material= 496.8 gr

v=volúmen desalojado= 244 cm³ 244 ml

Peso específico relativo= 2.03606557 gr/cm³ peso específico del agua = 1 gr/cm³

Peso específico relativo(densidad)= 2.0361

volúmen de absorción.

volúmen de absorción= 33 ml

v1=vol.inicial= 244 ml

v2=vol.final= 211 ml

Apéndice VI: Determinación del peso volumétrico suelto y compacto de la grava y del agregado reciclado. (Norma ASTN C29).

Procedimiento para el peso volumétrico suelto de la grava (norma ASTM C29).

1. Se cuartea el material.
2. En forma representativa se toma material con el cucharón, con la brocha se recogen los finos, y se depositan en un recipiente con una altura de caída de cero cm, se llena hasta el nivel de derrame.
3. Se enrasa la arena con regla metálica (rasero).
4. Se enrasa la grava con la mano compensando los huecos con las salientes.
5. Se pesa el recipiente con el material.
6. Se realiza tres veces el procedimiento con el objeto de tener al menos tres datos. Se repetirá la prueba si la diferencia excede de 30 kg/m^3 el peso volumétrico obtenido en la grava entre el valor menor y el mayor. Para la arena la tolerancia será de 10 kg/m^3 entre el valor menor y el mayor.
7. Se reportará el promedio.

Procedimiento para el peso volumétrico compacto de la arena y la grava.

1. Se cuartea el material.
2. Se toma el material con el cucharón en forma representativa y se deposita en el recipiente distribuyendo el material de manera uniforme, el llenado será hasta $1/3$ del volumen del recipiente.
3. Se aplican 25 golpes (piquetes) con la varilla punta de bala distribuidos en toda el área. La velocidad de aplicación de los piquetes deberá ser moderada (ni muy rápida ni muy lento).
4. Se llena a $2/3$ partes de volumen del recipiente, se aplican 25 golpes (piquetes) con la varilla punta de bala distribuidos en toda el área. Sin penetrar en su totalidad la primera capa ($\pm 1 \text{ cm}$).
5. Se llena hasta el nivel de derrame y se varilla como se indicó en los incisos 3 y 4.

6. Se enrasa con la regla metálica. (rasero)
7. Se enrasa la grava con la yema de los dedos sin hacer presión compensando los huecos con las salientes.
8. Se pesa el recipiente con el material.
9. Se realiza tres veces el procedimiento con el objeto de tener al menos tres datos. Se repetirá la prueba si la diferencia excede de 30 kg/m^3 el peso volumétrico obtenido en la grava entre el valor menor y el mayor. Para la arena la tolerancia será de 10 kg/m^3 entre el valor menor y el mayor.
10. Se reportará el promedio.
11. Se pesan aproximadamente 500 gr de grava y 200gr de arena y se secan en la parrilla a fuego directo para obtener el peso constante (Ps).

Cálculos y resultados de la grava:

Grava.

Cálculo del peso volumétrico suelto.

diferencia < 30kg/m3

Corrección por humedad:

Peso del recipiente + material(kg)	Peso del recipiente(kg)	Peso neto del material(kg)	Volumen del recipiente (lt)	P.V.S.H (kg/m3)	%w	P.V.S.S (kg/m3)
17.1000	3.9120	13.1880	9.6900	1360.9907	0.3667	1356.0185
17.3000	3.9120	13.3880	9.6900	1381.6305	0.3667	1376.5829
17.2690	3.9120	13.3570	9.6900	1378.4314	0.3667	1373.3955
Promedio=				1373.6842	Promedio=	1368.6656

Peso charola 590.7 gr
charola+ma.húmedo 1275
charola+mat.seco= 1272.5
Peso húmedo(Pw)= 684.3 gr
Peso seco(Ps)= 681.8 gr
Pw-Ps=Peso del agua
%w= 0.3667

20.640

Cálculo del peso volumétrico compacto .

Peso del recipiente + material(kg)	Peso del recipiente(kg)	Peso neto del material(kg)	Volumen del recipiente (lt)	P.V.C.H (kg/m3)	%w	P.V.C.S (kg/m3)
18.3650	3.9120	14.4530	9.6900	1491.5377	0.3667	1486.0885
18.3650	3.9120	14.4530	9.6900	1491.5377	0.3667	1486.0885
18.6000	3.9120	14.6880	9.6900	1515.7895	0.3667	1510.2517
Promedio=				1499.6216	Promedio=	1494.1429

24.252

Agregado reciclado

Cálculo del peso volumétrico suelto.

diferencia < 30kg/m3

Corrección por humedad:

Peso del recipiente + material(kg)	Peso del recipiente(kg)	Peso neto del material(kg)	Volumen del recipiente (lt)	P.V.S.H (kg/m3)	%w	P.V.S.S (kg/m3)
14.3600	3.9120	10.4480	9.6900	1078.2250	3.6233	1040.5238
14.3600	3.9120	10.4480	9.6900	1078.2250	3.6233	1040.5238
14.1110	3.9120	10.1990	9.6900	1052.5284	3.6233	1015.7257
Promedio=				1069.6594	Promedio=	1032.2578

Peso charola 465.5 gr
charola+ma.húmedo: 1214.8 gr
charola+mat.seco= 1188.6 gr
Peso húmedo(Pw)= 749.3 gr
Peso seco(Ps)= 723.1 gr
Pw-Ps=Peso del agua
%w= 3.6233

25.6966

Cálculo del peso volumétrico compacto .

Peso del recipiente + material(kg)	Peso del recipiente(kg)	Peso neto del material(kg)	Volumen del recipiente (lt)	P.V.C.H (kg/m3)	%w	P.V.C.S (kg/m3)
15.2790	3.9120	11.3670	9.6900	1173.0650	3.6233	1132.0477
15.5160	3.9120	11.6040	9.6900	1197.5232	3.6233	1155.6507
15.4630	3.9120	11.5510	9.6900	1192.0537	3.6233	1150.3724
Promedio=				1187.5473	Promedio=	1146.0236

24.4582

Apéndice VII. Proporcionamiento de mezclas.

A continuación se hace una breve descripción del procedimiento utilizada para el proporcionamiento de mezclas basado en el reporte 211 del comité ACI.

Los siguientes datos de antecedentes deberán reunirse antes de comenzar los cálculos:

- Análisis granulométrico para agregados fino y grueso; módulo de finura.
- Peso unitario varillado seco del agregado grueso.
- Densidad de los materiales.
- Capacidad de absorción, o humedad libre en el agregado.
- Variaciones en el requerimiento aproximado de agua para la mezcla, con el revenimiento, contenido de aire y graduación de los agregados disponibles.
- Relaciones entre resistencia y la relación agua/cemento para combinaciones disponibles de cemento y agregado.
- Especificaciones de la obra si las hay (como relación agua/cemento máxima, mínimo contenido de aire, revenimiento mínimo, tamaño máximo del agregado y resistencia a edades tempranas; normalmente se especifica a los 28 días).

Independientemente de si las características del concreto son prescritas en las especificaciones o se delegan al diseñador de la mezcla, los pesos de las cantidades en kilogramo por metro cúbico de concreto pueden calcularse con la siguiente secuencia:

Paso 1: Selección del revenimiento. Si no está especificado el revenimiento, se puede seleccionar un valor apropiado para el trabajo de la Tabla 9-1. Se deberán usar mezclas de consistencia más rígida que puedan colocarse y compactarse sin segregación.

Tabla 9-1. Revenimiento recomendado para varios tipos de construcción

Tipos de construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo ^a	Mínimo
Cimentaciones reforzadas, muros y zapatas	7.5	2.5
Zapatas simples, estribos y muros de subestructura	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas de edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

^a Puede incrementarse en 2.5 cm para métodos de compactación distintos a la vibración. Fuente: Reproducida con autorización del American Concrete Institute.

Paso 2: Selección del tamaño máximo del agregado. Para el mismo volumen de agregado grueso, utilizar un tamaño máximo de un agregado con buena granulometría producirá menos espacios vacíos que usar uno de tamaño menor, y esto tendrá el efecto de reducir el requerimiento de mortero en una unidad de volumen de concreto.

Paso 3: Cálculo del agua de mezclado y contenido de aire. La cantidad de agua por unidad de volumen de concreto requerida para producir un revenimiento dado, depende de el tamaño máximo de las partículas, la forma y la granulometría de los agregados, así como de la cantidad de al incluido; no la afecta seriamente el contenido de cemento en la mezcla de concreto. Si no se encuentran datos disponibles que se basen en experiencias con los agregados a utilizar, suponiendo partículas de forma normal y bien graduadas, se puede hacer una estimación del agua mezclado con o sin inclusión de aire, basándose en la tabla 9-2, con el objeto de calcular las cantidades en la mezcla de tanteo. Los datos de la tabla también muestran la cantidad aproximada de aire atrapado esperado en el concreto sin inclusión de aire y los niveles recomendados de contenido total de aire para concreto en el que se introduce al intencionalmente para resistencia al congelamiento.

Tabla 9-2. Agua de mezclado aproximada y requerimientos de contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregados

Agua, kg/m ³ de concreto para los tamaños máximos nominales indicados de los agregados								
Revenimiento, cm	10*	13*	20*	25*	38*	50+	75+ +	150+ +
Concreto sin aire incluido								
2.5 a 5	208	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incluido, por ciento	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 a 5	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a 17.5	216	205	197	184	174	166	154	-
Promedios recomendados de contenido total de aire, porcentaje para diferentes grados de exposición:								
Baja exposición	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5***†	1.0***†
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5***†	3.0***†
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5***†	4.0***†

Paso 4: Selección de la relación agua/cemento. Puesto que los distintos agregados y cementos producen generalmente diferentes resistencias con la misma relación agua/cemento, es muy conveniente analizar la relación entre la resistencia y la relación agua/cemento de los materiales que se van realmente a utilizar. En ausencia de tal información, pueden tomar valores relativamente conservadores para concretos hechos con cemento portland Tipo 1, como muestra en la tabla 9-3 y como la relación agua/cemento seleccionada debe satisfacer tanto los criterios de resistencia como los de durabilidad, el valor obtenido en la tabla podrá reducirse dependiendo de los requerimientos para una exposición especial.

Tabla 9-3. Relaciones entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto

Resistencia a la compresión a 28 días (MPa) ^a	Relación agua-cemento, por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
40	0.42	-
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Paso 5: Cálculo del contenido de cemento. El contenido de cemento requerido es igual al contenido del agua de mezclado (Paso 3) dividido entre la relación agua/cemento (Paso 4).

Paso 6: Estimación del contenido de agregado grueso. Se puede lograr economía utilizando el volumen máximo posible de agregado grueso con base en un varillado en seco por unidad de volumen de concreto. Los datos de un gran número de pruebas han demostrado que para materiales adecuadamente graduados, cuanto más fina es la arena y mayor el tamaño de las partículas de agregado grueso mayor, es el volumen de agregado grueso que puede utilizarse para producir una mezcla de concreto de trabajabilidad satisfactoria. En la tabla 9-5 se puede ver que, para un grado adecuado de trabajabilidad, el volumen de agregado grueso por unidad de volumen del concreto depende solamente de su tamaño máximo y del módulo de finura del agregado fino. Se supone que las diferencias en la cantidad de mortero requerido para una trabajabilidad dada con diferentes agregados, debido a diferencias en la forma de la partícula y en la graduación, son compensadas automáticamente por las diferencias en el contenido de huecos del varillado en seco. El volumen del agregado, en metros cúbicos, con base en el varillado en seco, para un metro cúbico de concreto, se obtiene en la tabla 9-5. Este volumen se convierte en el peso seco del agregado grueso multiplicándolo por su peso unitario varillado seco.

Tabla 9-5. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen del concreto

Tamaño máximo del agregado (mm)	Volumen de agregado ^g grueso varillado en seco por unidad de volumen de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
13	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
38	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Paso 7: Estimación del contenido de agregado fino. Al completar el paso 6, todos los ingredientes del concreto han sido calculados con excepción del agregado fino; su cantidad es determinada por diferencia y en esta fase, se pueden emplear ya sea el método de ‘peso’ o el de ‘volumen absoluto’. De acuerdo con el método de peso, si el peso unitario del concreto fresco se conoce por una previa experiencia, entonces el peso requerido del agregado fino es simplemente la diferencia entre el peso por unidad del concreto y los pesos totales del agua, cemento y agregado

grueso. Cuando no se cuenta con un cálculo confiable del peso unitario del concreto, la primera estimación para un concreto de riqueza media (326 kg/m³ de cemento, revenimiento medio de 7.5 a 10 cm) y una densidad aproximada de 2.7 del agregado, se puede obtener de la tabla 9-6. La experiencia demuestra que aun un cálculo burdo de peso unitario es adecuado para el propósito de elaborar mezclas de tanteo.

Tabla 9-6. Primera estimación del peso de concreto fresco		
Tamaño máximo del agregado (mm)	Primera estimación del peso del concreto (kg/m ³)	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
10	2280	2190
13	2310	2230
20	2350	2280
25	2380	2315
38	2415	2350
50	2445	2375
75	2470	2400
150	2510	2445

En el caso del método de volumen absoluto, el volumen total desplazado por los ingredientes conocidos (agua, aire, cemento y agregado grueso), se resta del volumen unitario del concreto (1 m³) para obtener el volumen requerido del agregado fino. Éste a su vez es convertido en unidades de peso multiplicándolo por la densidad del material.

Paso 8: Ajustes por humedad del agregado. Generalmente, los agregados en el almacén están húmedos; sin la corrección por humedad, la relación real de agua/cemento de la mezcla de tanteo será más alta que la seleccionada en el paso 4, y los pesos de los agregados saturados superficialmente secos (SSS) serán menores que los estimados en 1 pasos 6 y 7. Se supone por lo tanto, que las proporción de la mezcla determinadas en los pasos 1 a 7, lo son en ha a los agregados a SSS. Para la mezcla de tanteo, dependiendo de la cantidad de humedad libre de los agregados, agua de mezclado se reduce y la cantidad de los agregad se incrementa correspondientemente, como se indica en 1 cálculos de muestra.

Paso 9: Ajustes de la mezcla de tanteo. Debido a las muchas suposiciones que caracterizan a los cálculos teóricos anteriores, las proporciones de la mezcla para los materiales que se van a utilizar realmente, deben ser verificadas y ajustadas por medio de pruebas de tanteo en laboratorio con pequeñas cargas (por ejemplo, 30 L de concreto). El concreto fresco deberá probarse en revenimiento, trabajabilidad (libre de segregación), peso unitario y contenido de aire; las muestras de concreto endurecido, curado bajo condiciones normales, deberán probarse en cuanto a resistencia y en edad especificada. Después de varios tanteos, cuando obtiene una mezcla que satisfaga los criterios deseados trabajabilidad y resistencia, las proporciones de la mezcla de la carga de prueba a escala de laboratorio son incrementadas para producir cargas a escala natural en el campo.

Apéndice VIII. Resultados de la Prueba de compresión.

Prueba	Espécimen	Edad (días)	Ds (cm)	Dm (cm)	Di (cm)	Dprom (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	hprom (cm)	Área (cm ²)	Vol (cm ³)	Peso (gr)	P. Vol (kg/m ³)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Forma de falla	Desv. Est.	Promedio (Kg/cm ²)	
CN1	CN1-D3-1	3	14.96	14.91	15.15	15.01	30.15	30.30	30.29	30.25	176.87	5349.78	11400.00	2130.93	29250.00	165.37	2	8.07	157.38	
	CN1-D3-2	3	14.90	15.08	15.13	15.04	30.48	30.30	30.29	30.36	177.58	5390.72	11100.00	2059.09	26500.00	149.23	2			
	CN1-D3-3	3	14.95	15.08	15.10	15.04	30.05	30.10	30.15	30.10	177.74	5349.89	11100.00	2074.81	28000.00	157.54	2			
	CN1-D7-1	7	14.95	15.00	15.20	15.05	30.10	30.20	30.10	30.13	177.89	5360.56	11300.00	2107.99	37500.00	210.80	2	2.36	211.05	
	CN1-D7-2	7	14.90	15.01	15.10	15.00	30.20	30.10	30.30	30.20	176.79	5339.15	11200.00	2097.71	37750.00	213.53	1			
	CN1-D7-3	7	14.95	15.10	15.01	15.02	30.10	30.15	30.10	30.12	177.19	5336.26	11250.00	2108.22	37000.00	208.82	2			
	CN1-D14-1	14	14.90	15.00	15.10	15.00	30.20	30.30	30.10	30.10	176.71	5336.78	11200.00	2098.64	38250.00	216.45	3			
	CN1-D14-2	14	14.95	15.00	15.10	15.02	30.10	30.15	30.20	30.15	177.11	5339.79	11300.00	2116.19	41750.00	235.73	3	9.69	226.67	
	CN1-D14-3	14	14.95	15.00	15.10	15.02	30.10	30.15	30.12	30.12	177.11	5335.07	11250.00	2108.69	40350.00	227.83	2			
	CN1-D28-1	28	15.05	14.90	15.20	15.05	30.20	30.10	30.00	30.10	177.89	5354.63	11400.00	2129.00	42000.00	236.09	2			
	CN1-D28-2	28	15.00	15.10	14.90	15.00	30.20	30.15	30.00	30.12	176.71	5322.05	11200.00	2104.45	41600.00	235.41	2	3.36	233.82	
	CN1-D28-3	28	15.05	15.10	15.05	15.07	30.20	30.10	30.20	30.17	178.29	5378.38	11300.00	2101.00	41000.00	229.96	2			
	CN2	CN2-D3-1	3	9.85	10.10	10.10	10.02	20.05	20.10	20.20	20.12	78.80	1585.23	3361.30	2120.39	12800.00	162.43	2	3.75	158.30
		CN2-D3-2	3	10.15	10.10	10.20	10.15	20.10	20.15	20.10	20.12	80.91	1627.71	3325.50	2043.05	12550.00	155.10	2		
CN2-D3-3		3	9.85	10.20	10.00	10.02	20.20	20.25	20.15	20.20	78.80	1591.80	3379.10	2122.82	12400.00	157.36	2			
CN2-D7-1		7	9.95	10.15	10.10	10.07	19.95	19.95	20.00	19.97	79.59	1589.16	3348.40	2107.03	15350.00	192.86	2	1.31	191.40	
CN2-D7-2		7	10.00	10.05	9.95	10.00	20.00	20.00	19.95	19.98	78.54	1569.49	3333.20	2123.75	15000.00	190.99	2			
CN2-D7-3		7	10.00	10.05	10.10	10.05	20.20	20.10	20.10	20.13	79.33	1597.12	3366.40	2107.79	15100.00	190.35	2			
CN2-D14-1		14	9.95	10.00	10.20	10.05	20.00	20.05	19.95	20.00	79.33	1586.54	3304.50	2082.83	18400.00	231.95	2			
CN2-D14-2		14	10.20	10.00	10.00	10.07	20.20	20.25	20.30	20.25	79.59	1611.71	3328.40	2065.14	18600.00	233.70	2	2.31	231.59	
CN2-D14-3		14	10.20	10.20	10.10	10.17	20.25	20.30	20.25	20.27	81.18	1645.24	3328.20	2022.93	18600.00	229.12	2			
CN2-D28-1		28	10.10	10.20	10.05	10.12	20.05	20.20	20.10	20.12	80.38	1617.04	3304.20	2043.36	19000.00	236.37	2			
CN2-D28-2		28	10.15	10.00	10.10	10.08	20.30	20.25	20.20	20.25	79.85	1617.05	3304.90	2043.78	19450.00	243.57	2	3.60	240.01	
CN2-D28-3		28	10.20	10.10	10.05	10.12	20.15	20.25	20.10	20.17	80.38	1621.06	3296.90	2033.79	19300.00	240.10	2			

CN3	CN3-D3-1	3	9.95	10.00	10.10	10.02	20.10	20.05	20.00	20.05	20.05	20.05	78.80	1579.98	3361.80	2127.75	11350.00	144.03	1	4.22	148.53		
	CN3-D3-2	3	10.05	10.15	10.10	10.10	20.15	20.05	20.15	20.05	20.15	20.15	80.12	1611.72	3382.80	2098.88	11950.00	149.15	1				
	CN3-D3-3	3	10.10	10.05	9.95	10.03	20.10	20.15	20.10	20.15	20.10	20.15	79.06	1590.51	3371.90	2120.01	12050.00	152.41	2				
	CN3-D7-1	7	10.00	9.95	10.10	10.02	20.10	20.00	20.10	20.00	20.10	20.00	78.80	1581.29	3321.40	2100.44	15750.00	199.87	2				
	CN3-D7-2	7	10.00	10.10	10.10	10.07	20.00	20.00	20.05	20.05	20.05	20.05	79.59	1594.46	3326.40	2086.22	15900.00	199.77	2	2.24	198.53		
	CN3-D7-3	7	10.15	10.10	10.10	10.12	20.00	20.00	20.10	20.05	20.10	20.05	80.38	1611.68	3331.30	2066.97	15750.00	195.94	2				
	CN3-D14-1	14	10.20	10.10	10.15	10.15	20.10	20.10	20.10	20.20	20.10	20.10	80.91	1629.06	3297.80	2024.35	18350.00	226.78	2				
	CN3-D14-2	14	10.25	10.20	10.15	10.20	20.20	20.20	20.30	20.20	20.30	20.20	81.71	1653.32	3314.50	2004.75	18200.00	222.73	2	2.28	224.16		
	CN3-D14-3	14	10.20	10.10	10.20	10.17	20.30	20.20	20.20	20.20	20.20	20.20	81.18	1642.53	3345.40	2036.73	18100.00	222.96	2				
	CN3-D28-1	28	10.10	10.25	10.15	10.17	20.15	20.15	20.10	20.20	20.10	20.20	81.18	1635.77	3307.60	2022.05	18750.00	230.97	2				
	CN3-D28-2	28	10.10	10.15	10.15	10.13	20.30	20.30	20.20	20.25	20.20	20.25	80.65	1633.13	3305.70	2024.16	18550.00	230.01	2	1.43	231.27		
	CN3-D28-3	28	10.20	10.15	10.15	10.17	20.30	20.30	20.25	20.30	20.25	20.30	81.18	1646.59	3299.70	1985.74	18900.00	232.82	2				
	CR1	CR1-D3-1	3	10.10	10.20	10.10	10.13	20.15	20.20	20.25	20.20	20.20	20.20	80.65	1629.09	3231.50	1983.62	10200.00	126.48	2			
		CR1-D3-2	3	10.25	10.15	10.10	10.17	20.20	20.15	20.20	20.15	20.20	81.18	1638.48	3256.60	1987.58	9700.00	119.49	1	3.51	122.77		
CR1-D3-3		3	10.20	10.15	10.10	10.15	20.20	20.20	20.30	20.25	20.30	80.91	1638.50	3234.00	1973.75	9900.00	122.35	2					
CR1-D7-1		7	10.15	10.10	10.20	10.15	20.15	20.15	20.20	20.15	20.20	80.91	1631.76	3274.20	2006.55	14350.00	177.35	2					
CR1-D7-2		7	10.05	10.10	10.20	10.12	20.15	20.15	20.10	20.15	20.10	80.38	1618.38	3288.50	2031.97	14000.00	174.17	2	3.38	177.48			
CR1-D7-3		7	9.90	10.10	10.20	10.07	20.15	20.15	20.15	20.10	20.15	79.59	1602.42	3300.70	2059.82	14400.00	180.93	1					
CR1-D14-1		14	9.90	10.30	10.10	10.10	20.20	20.10	20.10	20.10	20.10	80.12	1613.05	3249.70	2014.63	17450.00	217.80	2					
CR1-D14-2		14	10.10	10.20	10.15	10.15	20.20	20.20	20.30	20.10	20.20	80.91	1634.46	3280.90	2007.33	18000.00	222.46	2	2.38	219.84			
CR1-D14-3		14	9.90	10.20	10.10	10.07	20.30	20.20	20.20	20.20	20.20	79.59	1610.38	3286.80	2041.01	17450.00	219.25	2					
CR1-D28-1		28	10.10	10.00	10.15	10.08	20.10	20.10	20.20	20.10	20.20	79.85	1607.73	3261.90	2028.88	19100.00	239.19	2					
CR1-D28-2		28	10.10	10.15	10.15	10.13	20.10	20.10	20.20	20.10	20.20	80.65	1623.72	3291.80	2027.32	19050.00	236.21	2	4.99	240.45			
CR1-D28-3		28	10.10	10.20	10.15	10.15	20.20	20.20	20.20	20.10	20.20	80.91	1631.76	3283.70	2012.37	19900.00	245.94	2					
CR2-D3-1		3	10.10	10.00	10.15	10.08	20.20	20.20	20.20	20.30	20.20	79.85	1615.72	3258.00	2016.44	9900.00	123.98	2					
CR2-D3-2		3	10.00	10.10	10.20	10.10	20.20	20.20	20.15	20.20	20.15	80.12	1617.06	3247.90	2008.52	10100.00	126.06	2	2.29	126.20			
CR2-D3-3	3	10.00	10.10	10.20	10.10	20.20	20.20	20.30	20.20	20.30	80.12	1621.06	3264.90	2014.05	10300.00	128.56	2						
CR2-D7-1	7	9.95	10.00	10.05	10.00	20.10	20.10	20.20	20.20	20.20	78.54	1583.89	3243.00	2047.50	15050.00	191.62	2						
CR2-D7-2	7	10.00	10.20	10.10	10.10	20.20	20.20	20.10	20.10	20.10	80.12	1613.05	3222.20	1997.58	14650.00	182.85	2	4.62	186.40				
CR2-D7-3	7	10.10	10.20	10.00	10.10	20.10	20.10	20.10	20.10	20.10	80.12	1610.38	3233.10	2007.66	14800.00	184.73	2						
CR2-D14-1	14	10.15	10.20	10.10	10.15	20.10	20.10	20.20	20.10	20.20	80.91	1629.06	3258.40	2000.17	17600.00	217.52	2						
CR2-D14-2	14	10.20	10.10	10.10	10.13	20.10	20.10	20.10	20.10	20.10	80.65	1621.03	3263.40	2013.17	18150.00	225.05	2	6.42	224.28				
CR2-D14-3	14	10.00	10.10	10.20	10.10	20.10	20.10	20.20	20.10	20.20	80.12	1613.05	3250.10	2014.88	18450.00	230.28	2						
CR2-D28-1	28	9.90	10.00	10.10	10.00	20.00	20.00	20.10	20.00	20.10	78.54	1573.41	3268.90	2077.58	20702.00	263.59	2						
CR2-D28-2	28	9.90	10.00	9.90	9.93	20.10	20.10	20.10	20.00	20.10	77.50	1565.09	3272.30	2104.25	18801.00	242.61	3	11.59	255.93				
CR2-D28-3	28	9.90	10.10	10.00	10.00	20.20	20.20	20.00	20.10	20.20	78.54	1578.65	3281.60	2078.74	20547.00	261.61	2						

CR3	CR3-D3-1	3	10.10	9.90	10.00	10.00	10.00	19.80	19.70	20.00	19.83	78.54	1557.71	3212.70	2062.46	8750.00	111.41	2	5.44	117.47	
	CR3-D3-2	3	9.90	10.00	9.90	9.93	20.00	20.00	20.10	20.00	20.03	77.50	1552.51	3222.50	2075.68	9450.00	121.94	2			
	CR3-D3-3	3	10.10	10.00	9.90	10.00	20.00	20.00	19.90	20.00	19.97	78.54	1568.18	3203.70	2042.94	9350.00	119.05	2			
	CR3-D7-1	7	10.00	10.10	9.90	10.00	20.00	20.00	19.80	20.00	19.93	78.54	1565.56	3203.70	2046.36	13050.00	166.16	2			
	CR3-D7-2	7	9.90	9.90	10.10	9.97	20.00	20.00	19.80	20.00	19.93	78.02	1555.14	3220.70	2071.00	13300.00	170.48	2	3.25	169.72	
	CR3-D7-3	7	10.00	10.10	9.90	10.00	20.00	20.00	19.90	19.90	19.93	78.54	1565.56	3237.90	2068.21	13550.00	172.52	2			
	CR3-D14-1	14	10.10	9.90	9.80	9.93	20.00	20.00	20.00	20.00	19.90	77.50	1547.34	3229.20	2086.94	15850.00	204.53	2			
	CR3-D14-2	14	9.90	10.00	10.00	9.97	20.10	20.10	20.10	20.10	20.00	78.02	1565.54	3232.50	2064.78	17150.00	219.82	2	7.84	213.18	
	CR3-D14-3	14	9.90	10.00	10.10	10.00	19.90	20.00	20.00	20.00	19.97	78.54	1568.18	3210.00	2046.96	16900.00	215.18	2			
	CR3-D28-1	28	10.10	10.10	10.00	10.07	20.00	20.00	20.10	20.10	20.07	79.59	1597.12	3229.00	2021.77	18000.00	226.16	2			
CR3-D28-2	28	10.10	10.10	10.10	10.10	20.00	20.00	20.10	20.10	20.07	80.12	1607.71	3223.00	2004.71	17800.00	222.17	2	3.05	225.49		
CR3-D28-3	28	9.90	9.90	10.10	9.97	20.00	20.00	20.00	20.00	20.10	78.02	1562.94	3231.00	2067.25	17800.00	228.16	2				
CRM1	CRM1-D3-1	3	9.90	10.10	9.90	9.97	20.00	20.00	20.10	20.00	20.03	78.02	1562.94	3214.90	2056.95	11200.00	143.56	2			
	CRM1-D3-2	3	9.90	10.00	9.90	9.93	20.20	20.10	20.10	20.10	20.13	77.50	1560.26	3209.90	2057.29	11800.00	152.27	2	5.90	145.62	
	CRM1-D3-3	3	10.00	10.10	10.00	10.03	20.00	20.00	19.80	20.10	19.97	79.06	1578.65	3208.70	2032.56	11150.00	141.02	2			
	CRM1-D7-1	7	10.10	9.90	9.90	9.97	20.00	20.00	19.90	19.90	19.93	78.02	1555.14	3204.00	2060.26	16950.00	217.26	2			
	CRM1-D7-2	7	10.10	10.00	10.00	10.03	20.00	20.00	19.80	19.90	19.90	79.06	1573.38	3208.10	2038.99	17600.00	222.60	2	7.54	224.00	
	CRM1-D7-3	7	9.80	9.90	9.90	9.87	20.00	20.00	19.90	19.90	19.93	76.46	1524.09	3209.30	2105.72	17750.00	232.15	2			
	CRM1-D14-1	14	9.90	9.90	9.80	9.87	20.10	20.10	20.10	20.10	20.10	76.46	1536.83	3180.00	2069.19	21050.00	275.31	2			
	CRM1-D14-2	14	9.90	9.90	10.10	9.97	20.10	20.00	20.00	20.00	20.03	78.02	1562.94	3180.00	2034.62	21450.00	274.94	2	0.32	275.28	
	CRM1-D14-3	14	9.90	10.00	10.00	9.97	20.00	20.10	20.10	20.10	20.07	78.02	1565.54	3200.00	2044.02	21500.00	275.58	2			
	CRM1-D28-1	28	9.90	10.00	10.00	9.97	20.00	20.00	20.10	20.10	20.03	78.02	1562.94	3207.00	2051.90	23450.00	300.58	2			
CRM1-D28-2	28	10.00	10.10	10.00	10.03	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	79.06	1581.29	3200.00	2023.67	24200.00	306.08	2	9.76	297.92		
CRM1-D28-3	28	10.10	10.10	9.90	10.03	20.00	20.00	20.00	20.00	20.10	79.06	1583.92	3200.00	2020.30	22700.00	287.11	2				
CRM2	CRM2-D3-1	3	10.00	9.90	9.90	9.93	19.80	19.80	20.10	19.90	19.93	77.50	1544.76	3188.00	2063.76	10250.00	132.26	2			
	CRM2-D3-2	3	9.90	10.00	10.00	9.97	19.90	19.90	20.10	20.10	20.03	78.02	1562.94	3181.00	2035.26	11100.00	142.28	2	5.04	137.63	
	CRM2-D3-3	3	10.00	9.90	9.80	9.90	20.10	20.00	20.00	20.00	20.00	76.98	1539.54	3190.00	2072.05	10650.00	138.35	2			
	CRM2-D7-1	7	10.10	10.00	10.00	10.03	20.10	20.10	20.20	20.10	20.13	79.06	1591.83	3190.00	2003.99	16700.00	211.22	2			
	CRM2-D7-2	7	10.10	10.00	10.00	10.03	20.00	20.00	20.10	20.20	20.10	79.06	1589.19	3180.00	2001.02	16650.00	210.59	2	2.58	212.38	
	CRM2-D7-3	7	10.00	9.90	10.00	9.97	20.10	20.00	20.00	20.00	20.07	78.02	1565.54	3290.00	2101.51	16800.00	215.34	2			
	CRM2-D14-1	14	10.00	10.10	10.10	10.07	20.10	20.10	20.00	20.00	20.03	79.59	1594.46	3159.00	1981.23	20400.00	256.31	2			
	CRM2-D14-2	14	10.00	10.00	9.90	9.97	20.00	20.00	20.00	20.00	19.90	78.02	1557.74	3152.00	2023.44	20600.00	264.04	2	4.93	261.94	
	CRM2-D14-3	14	10.10	10.00	9.90	10.00	20.00	20.00	20.10	20.10	20.07	78.54	1576.03	3169.00	2010.75	20850.00	265.47	2			
	CRM2-D28-1	28	10.10	10.10	10.00	10.07	20.10	20.10	20.20	20.20	20.13	79.59	1602.42	3225.00	2012.58	22650.00	284.58	2			
CRM2-D28-2	28	9.90	10.00	10.00	9.97	20.00	20.00	20.10	20.10	20.03	78.02	1562.94	3239.00	2072.37	22200.00	284.55	2	5.14	281.60		
CRM2-D28-3	28	10.00	10.00	10.00	10.00	20.00	20.00	20.10	20.10	20.07	78.54	1576.03	3223.00	2045.01	21650.00	275.66	2				

CRM3	CRM3-D3-1	3	10.10	10.10	9.90	10.03	20.00	20.10	20.00	20.03	79.06	1583.92	3124.00	1972.32	9600.00	121.42	2	3.17	118.15
	CRM3-D3-2	3	9.90	10.00	10.00	9.97	20.00	20.00	20.00	20.00	78.02	1560.34	3114.00	1995.72	9200.00	117.92	2		
	CRM3-D3-3	3	10.10	10.00	10.00	10.03	20.10	20.00	20.00	20.03	79.06	1583.92	3148.00	1987.47	9100.00	115.10	2		
	CRM3-D7-1	7	10.00	9.90	9.80	9.90	20.10	20.10	20.00	20.07	76.98	1544.67	3133.00	2028.27	14650.00	190.32	2		
	CRM3-D7-2	7	10.00	10.00	9.90	9.97	20.00	20.00	20.00	20.00	78.02	1560.34	3113.00	1995.08	15500.00	198.67	2	4.21	194.80
	CRM3-D7-3	7	10.10	10.00	10.00	10.03	20.00	20.10	20.00	20.03	79.06	1583.92	3108.00	1962.22	15450.00	195.41	2		
	CRM3-D14-1	14	10.00	10.10	10.00	10.03	20.00	20.00	20.00	20.00	79.06	1581.29	3200.00	2023.67	18750.00	237.15	2		
	CRM3-D14-2	14	9.90	9.90	10.00	9.93	20.10	20.00	20.00	20.03	77.50	1552.51	3196.00	2058.61	18800.00	242.59	2	4.35	237.91
	CRM3-D14-3	14	10.10	10.00	10.00	10.03	19.90	20.20	20.00	20.03	79.06	1583.92	3193.00	2015.88	18500.00	233.99	2		
	CRM3-D28-1	28	10.00	10.10	10.10	10.07	20.10	20.00	20.10	20.07	79.59	1597.12	3152.00	1973.56	20650.00	259.45	2		
	CRM3-D28-2	28	10.00	10.00	10.10	10.03	20.00	20.00	20.00	20.00	79.06	1581.29	3136.00	1983.20	20300.00	256.75	2	3.01	259.66
	CRM3-D28-3	28	9.90	10.00	10.00	9.97	20.00	20.10	20.00	20.03	78.02	1562.94	3130.00	2002.63	20500.00	262.76	2		

Apéndice IX. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto (módulo de ruptura).

Especimen	f _c (kg/cm ²)	ancho b (cm)		peralte d (cm)		Dis. apoyos L(cm)		Ubicación de fractura. 1) Tercio medio del claro. 2) fuera del tercio medio del claro no más del 5 % de su longitud.	Carga Max aplicada (kg)	Módulo de ruptura R(kg/cm ²)	Módulo de ruptura R	
		b	b prom	d	d prom	L	Lprom				clase 1	clase 2
CN2-1	240.01	15.00 15.05 15.10 15.00	15.04	15.30 15.10 15.00 14.80	15.05	45.10 45.30 45.10 45.20	45.18	1	2200	29.18	30.98	21.69
CN3-1	231.27	15.10 15.10 15.00 15.00	15.05	15.20 15.30 15.40 15.20	15.28	45.40 45.50 45.60 45.40	45.48	1	2800	36.26	30.41	21.29
CN3-2	231.27	15.00 15.20 15.20 15.20	15.15	15.10 15.20 15.25 15.10	15.16	45.00 45.00 45.00 45.00	45.00	1	2850	36.82	30.41	21.29
CR1-1	240.45	15.10 15.00 15.10 15.00	15.05	15.10 15.10 15.10 15.10	15.10	45.10 45.00 45.10 45.00	45.05	1	2614	34.32	31.01	21.71
CR1-2	240.45	15.20 15.10 15.00 15.10	15.10	15.00 15.10 15.10 15.00	15.03	45.10 45.10 45.00 45.00	45.05	1	2752	36.37	31.01	21.71
CR2-1	255.94	15.20 15.10 15.20 15.10	15.15	15.20 15.20 15.20 15.20	15.20	45.10 45.00 45.00 45.10	45.05	1	1989	25.60	32.00	22.40
CR2-2	255.94	15.10 15.10 15.20 15.20	15.15	15.00 15.10 15.10 15.10	15.08	45.10 45.00 45.00 45.10	45.05	1	2383	31.18	32.00	22.40
CR3-1	225.50	15.20 15.10 15.20 15.10	15.15	14.70 14.80 14.70 14.70	14.73	45.00 45.10 45.20 45.00	45.08	1	2450	33.62	30.03	21.02
CR3-2	225.50	15.10 15.10 15.20 15.20	15.15	15.10 15.20 15.10 15.10	15.13	45.10 45.00 45.00 45.00	45.03	1	2550	33.13	30.03	21.02
CRM1-1	297.92	14.90 15.00 15.00 15.00	14.98	14.80 14.90 15.00 15.10	14.95	45.10 45.00 45.20 45.00	45.08	1	2650	35.69	34.52	24.16
CRM1-2	297.92	15.20 15.20 15.30 15.20	15.23	15.10 15.20 15.00 15.10	15.10	45.10 45.00 45.00 45.00	45.03	1	2750	35.67	34.52	24.16
CRM2-1	281.60	15.00 15.10 15.00 15.10	15.05	15.20 15.20 15.10 15.20	15.18	45.10 45.10 45.20 45.10	45.13	1	2900	37.76	33.56	23.49
CRM2-2	281.60	15.00 15.10 15.10 15.20	15.10	15.20 15.20 15.10 15.10	15.15	45.10 45.00 45.00 45.00	45.03	1	2950	38.32	33.56	23.49
CRM3-1	259.66	15.00 15.00 15.10 15.20	15.08	15.10 15.20 15.20 15.10	15.15	45.00 45.00 45.00 44.90	44.98	1	2500	32.50	32.23	22.56
CRM3-2	259.66	15.20 15.30 15.30 15.20	15.25	15.30 15.20 15.20 15.20	15.23	45.00 45.10 45.10 45.20	45.10	1	2550	32.53	32.23	22.56