

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE LOS RESIDUOS DE CONCRETO ESTRUCTURAL TRITURADO CON GRANULOMETRÍA CONTROLADA Y DOSIFICACIÓN PARCIAL BAJA COMO ALTERNATIVA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs.:
Meléndez Ascanio, Naiyit Alejandra
Pérez García, Diana Carolina
Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2014

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE LOS RESIDUOS DE CONCRETO ESTRUCTURAL TRITURADO CON GRANULOMETRÍA CONTROLADA Y DOSIFICACIÓN PARCIAL BAJA COMO ALTERNATIVA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

TUTOR ACADÉMICO: Prof. César Peñuela

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs.:
Meléndez Ascanio, Naiyit Alejandra
Pérez García, Diana Carolina
Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2014

Por la presente certifico que he leído el Trabajo Especial de Grado **“ESTUDIO DE LOS RESIDUOS DE CONCRETO ESTRUCTURAL TRITURADO CON GRANULOMETRÍA CONTROLADA Y DOSIFICACIÓN PARCIAL BAJA COMO ALTERNATIVA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS”**, desarrollado por las bachilleres: DIANA PEREZ Y NAIYIT MELENDEZ para optar al título de Ingeniero Civil, y lo encuentro apropiado tanto en su contenido, como en su formato y apariencia externa.

Considerando que cumple con los requisitos exigidos por la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, autorizo se proceda a la entrega de los ejemplares respectivos ante el Departamento de Ingeniería Estructural, para que sea sometido a evaluación por parte del jurado examinador que le sea designado.

En Caracas, a los 12 días del mes de junio del 2014



Prof. César Peñuela

ACTA

El día 19 de Junio de 2014 se reunió el jurado formado por los profesores:

CESIA PEÑUELA.
Trino Baloa
María Eugenia Koady

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: "ESTUDIO DE LOS RESIDUOS DE CONCRETO ESTRUCTURAL TRITURADO CON GRANULOMETRÍA CONTROLADA Y DOSIFICACIÓN PARCIAL BAJA COMO ALTERNATIVA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS".

Presentado ante la ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**.

Una vez oída la defensa oral que las bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Meléndez Ascanio, Naiyit Alejandra.	20	VEINTE
Br. Pérez García, Diana Carolina.	20	VEINTE

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO

[Firma]
[Firma]
María Eugenia Koady

Caracas 19 de Junio de 2014

Dedicado a Dios y a mi familia
“Gracias por ser la base fundamental de lo que soy”
Diana Pérez

Dedicado a Dios, santos y familia

“Por haberme brindado la sabiduría a lo largo de mi carrera”

Naiyit Meléndez

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi familia, por su apoyo incondicional y por ser la base fundamental de todas mis metas. Especialmente a mi madre, gracias por la vida que me has dado por estar siempre conmigo apoyándome en las buenas y las malas, gracias a ti he llegado hasta aquí, te amo.

Gracias a mi hermosa Universidad Central de Venezuela, por formarme profesionalmente y ser mi escuela de vida.

Gracias a mi compañera Naiyit Meléndez, por su valiosa amistad, paciencia y perseverancia. Por ser mi apoyo en esos momentos de debilidad y desmotivación. Gracias por contar hasta veinte.

Gracias Daviant Julio, por su valiosa colaboración en la elaboración de este proyecto, sin ti el camino hubiese sido más complicado. Gracias por ser más que un novio y estar ahí dándome fuerzas para seguir adelante.

Gracias a mis grandes compañeros y amigos: Miguelito, Félix, Redes, Renny, Jaimito, Simón, Ángelo, Agustín.

Gracias mi querido Señor Elionel y al Señor Robert, Técnicos del IMME, por habernos brindado todo el apoyo y colaboración durante la ejecución de este trabajo.

Gracias a mi gran profesor y amigo Cesar Peñuela, por habernos ofrecido este tema de tesis y haber aceptado ser nuestro tutor. Gracias por su valiosa asesoría y apoyo técnico durante la ejecución de este proyecto.

Gracias al profesor Ronald Torres, por habernos ofrecido este tema de tesis, el material reciclado y por prestarnos la colaboración en el uso de las instalaciones del IMME.

Gracias a BZS Construcciones S.A., por habernos donado el material necesario para la realización de los cilindros.

Diana Pérez

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios y a mis Santos por haberme acompañado y guiado en esta carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad.

Le doy gracias a mi padre Pedro Meléndez, mi madre Yusmar Ascanio, mi abuela Gladys Díaz y hermanos por apoyarme en todo momento, por los valores inculcados y por haberme dado la oportunidad de tener una buena educación.

A mi tutor Cesar Peñuela y a mi cotutor Profesor Ronald Torres por sus conocimientos, orientación que permitieron lograr de manera eficaz nuestro Trabajo Especial de Grado. Además, al señor Elionel y Robert por su amistad y apoyo incondicional a lo largo del desarrollo del mismo.

A Diana Pérez por haber sido excelente compañera de tesis y amiga, por haberme tenido paciencia necesaria y por motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación y sobre todo por hacer de su familia, una familia para mí.

A mi querido grupo de bochinches y estudio Mayerlin Ponce, Jossmary Sevira, Gabriel García, Verónica Pérez, Ydayaly Márquez, Johismar Gutiérrez y Yofran Graterol que aunque ya no se encuentre con nosotros físicamente, siempre estará en nuestro corazón, por haberme considerado su hermana y amiga en todo momento.

A Carlos Brizuela por siempre estar en las buenas y en las malas; por su comprensión, paciencia y amor, dándome ánimos de fuerza.

A la Universidad Central de Venezuela, mi casa de estudio, por brindarme la oportunidad de formar parte de ella, donde me forme como profesional, gracias a las enseñanzas de sus profesores.

Gracias mis amigos de estudio Anyelo, Danielita, Sandra; Redescar, Renny, Félix, Jaime, Juan Carlos, Alejandro y a todas aquellas personas que de alguna manera u otra contribuyeron en este triunfo.

Gracias a BZS Construcciones S.A., por la donación de los materiales.

Naiyit Meléndez

Meléndez A. Naiyit A.

Pérez G. Diana C.

**ESTUDIO DE LOS RESIDUOS DE CONCRETO ESTRUCTURAL
TRITURADO CON GRANULOMETRÍA CONTROLADA Y
DOSIFICACIÓN PARCIAL BAJA COMO ALTERNATIVA PARA
EL DISEÑO DE MEZCLAS.**

**Tutor Académico: Prof. Cesar Peñuela. T.E.G. Caracas, U.C.V. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2014. 109 pág.**

Palabras claves: Absorción, humedad, asentamiento, relación agua cemento, concreto reciclado, residuos de concreto estructural.

Resumen. Reciclar residuos de concreto estructural aplaca su mala deposición y mitiga la explotación de nuevos recursos naturales. En este Trabajo Especial de Grado se evaluó el comportamiento mecánico del concreto estructural, sustituyendo el agregado grueso y fino por residuos de concreto estructural triturado. Se realizaron cuatro diseños de mezclas correspondientes a patrón, sustitución del 20%, sustitución del 30% y sustitución del 40%. Se realizaron ensayos a los agregados, al concreto fresco y al concreto endurecido. La data obtenida fue procesada a través de tablas y gráficos comparativos, que permitieron contrastar los resultados de las mezclas con sustitución con respecto a la mezcla patrón. Los agregados reciclados presentaron mayor porcentaje de absorción en comparación con los naturales, este comportamiento se atribuyó a las partículas de cemento presentes en los mismos y el tamaño máximo para ambos fue de 1". El asentamiento promedio obtenido fue de 9.5 cm, sin embargo pasados 3 minutos las mezclas con sustitución fueron perdiendo trabajabilidad y asentamiento. Las resistencias obtenidas superaron los 250 kgf/cm² y la dosificación óptima se obtuvo con una sustitución parcial de los agregados del 30%. Se recomendó establecer un control de los agregados para la obtención de los parámetros de humedad y absorción y realizar mezclas usando aditivos que mejoren la trabajabilidad.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
I.1. El problema de la investigación.....	2
I.2. Objetivos de la investigación.....	5
I.2.1. Objetivo general	5
I.2.2. Objetivos específicos.....	5
I.3. Justificación	6
CAPITULO II.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
II.1. Antecedentes	7
II.1.1. Guardia Ricardo y Soto María, Trabajo Especial de Grado, residuos pétreos, 2008.	7
II.1.2. Indara Soto Izquierdo, Uso de áridos reciclados y su empleo en hormigones estructurales, 2006.....	8
II.2. Concreto	8
II.3. Tipos de concreto	9
II.4. Características del concreto.....	10
II.4.1. Reología.....	10
II.4.2. Trabajabilidad.....	11
II.4.3. Retracción.....	12
II.5. Exudación.....	12
II.6. Componentes del concreto	12

II.7.	Dosificación del concreto.....	13
II.8.	Agregados	13
II.8.1.	Agregado grueso.....	13
II.8.2.	Agregado fino.....	14
II.9.	Granulometría	15
II.10.	Tamaño máximo.....	15
II.11.	Límites granulométricos.....	15
II.12.	Relación β	15
II.13.	Cemento	15
II.14.	Contenido del cemento.....	16
II.15.	Cemento Portland.....	16
II.15.1.	Clasificación del cemento Portland	16
II.16.	Materiales de construcción reciclado	17
II.17.	Generación y Composición de los residuos de construcción y demolición.....	18
II.18.	Diseño de mezcla	20
II.19.	Ley de Abrams	20
II.20.	Relación triangular	21
II.21.	Resistencia Promedio Requerida (F_{cr}).....	21
II.22.	Proceso de curado	21
II.23.	Velocidad del pulso ultrasónico	21
II.24.	Esclerometría.....	22
II.25.	Resistencias mecánicas	23
CAPITULO III.....		25

MÉTODO.....	25
III.1. Búsqueda y almacenamiento de materiales.....	26
III.2. Caracterización de los agregados	26
III.2.1. Granulometría	26
III.2.2. Desgaste Los Ángeles	28
III.2.3. Absorción y Peso específico	30
III.2.4. Contenido de humedad	33
III.3. Diseño de mezcla	34
III.3.1. Relación Beta (β)	35
III.3.2. Resistencia Promedio Requerida (F_{cr})	36
III.3.3. Relación agua / cemento (α)	37
III.3.4. Relación agua / cemento corregida (α_c)	37
III.3.5. Dosis de cemento (C).....	38
III.3.6. Dosis de cemento corregida (C_c)	39
III.3.7. Volumen absoluto de los granos de cemento (V_C)	40
III.3.8. Volumen absoluto del agua (Ad).....	40
III.3.9. Volumen de aire atrapado (V_a).....	41
III.3.10. Volumen absoluto de los agregados	41
III.3.11. Volumen y Dosis de Agregados.	42
III.3.12. Dosificación de los materiales para la mezcla patrón.....	43
III.3.13. Dosificación de los materiales para las mezclas con sustitución parcial baja de los agregados en 20%, 30% y 40%.....	44
III.4. Mezclado del material	46
III.5. Preparación y curado de cilindros.....	47

III.6.	Caracterización del concreto fresco	49
III.6.1.	Medición de asentamiento	49
III.7.	Caracterización del concreto endurecido	50
III.7.1.	Peso unitario	50
III.7.2.	Ensayo a compresión	51
III.7.3.	Velocidad de pulso ultrasónico.....	53
III.7.4.	Índice esclerométrico.....	54
III.7.5.	Módulo de Elasticidad	55
III.8.	Comparación con respecto a mezclas patrones	56
CAPITULO IV.....		57
RESULTADOS.....		57
IV.1.	Caracterización de los agregados	57
IV.1.1.	Granulometría	57
IV.1.2.	Desgaste Los Ángeles.....	62
IV.1.3.	Absorción y peso específico	63
IV.1.4.	Contenido de Humedad	65
IV.2.	Diseño de mezcla	67
IV.2.1.	Relación β	67
IV.2.2.	Componentes del diseño de mezcla.....	68
IV.2.3.	Dosificación de los materiales para la mezcla patrón.....	68
IV.2.4.	Dosificación de los materiales para las mezclas con sustitución parcial baja de los agregados en 20%, 30% y 40%	69
IV.3.	Caracterización del concreto fresco	70
IV.3.1.	Medición de asentamiento	70

IV.4.	Caracterización del concreto endurecido	71
IV.4.1.	Peso Unitario.....	71
IV.4.2.	Ensayo a compresión	74
IV.4.3.	Velocidad de pulso ultrasónico.....	77
IV.4.4.	Índice esclerométrico	78
IV.4.5.	Módulo de elasticidad.....	78
CAPITULO V		84
ANALISIS DE RESULTADOS		84
V.1.	Caracterización de los agregados	84
V.1.1.	Granulometría.....	84
V.1.2.	Desgaste los Ángeles.....	85
V.1.3.	Porcentaje de absorción.....	85
V.2.	Caracterización del Concreto Fresco	86
V.2.1.	Asentamiento.....	86
V.3.	Caracterización del concreto endurecido	86
V.3.1.	Peso unitario	86
V.3.2.	Ensayo a Compresión	87
V.3.3.	Velocidad de pulso ultrasónico	91
V.3.4.	Índice Esclerométrico.....	91
V.3.5.	Módulo de elasticidad	92
CAPITULO VI.....		93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		93
VI.1.	Conclusiones	93
VI.2.	Recomendaciones.....	96

REFERENCIAS.....	98
Aguilar, A (1997). <i>Reciclado de materiales de construcción</i> . [Artículo]. Disponible:	98
ANEXOS	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla A. Clasificación de los residuos de construcción y demolición de acuerdo con el tipo de actividad.	17
Tabla B. Cifras de producción de residuos de construcción y demolición en los países de la UE.....	19
Tabla 1. Gradaciones de muestras de ensayo.....	28
Tabla 2. Carga abrasiva o número de esperas.	29
Tabla 3. Límites Granulométricos recomendados para distintos tamaños máximos del agregado. Porcentajes pasantes.	35
Tabla 4. Resistencia promedio a la compresión, F_{cr} , cuando no se dispone de datos para establecer la desviación estándar.....	36
Tabla 5. K_R Factor para corregir α por tamaño máximo, mm (Pulgadas).....	38
Tabla 6. K_A Factor para corregir α por tipo de agregado.....	38
Tabla 7. C_1 Factor para corregir C por tamaño máximo, mm (Pulgadas).....	39
Tabla 8. C_2 Factor para corregir α por tamaño máximo, mm (Pulgadas).	40
Tabla 9. Granulometría de la Arena Lavada.	57
Tabla 10. Granulometría de Piedra Picada.....	59
Tabla 11. Granulometría de Arena Reciclada.	60
Tabla 12. Porcentaje más fino que el cedazo COVENIN 74 micras (#200).....	60
Tabla 13. Granulometría de Piedra Reciclada.....	61
Tabla 14. Porcentaje desgaste Los Ángeles de la Piedra Picada.....	62
Tabla 15. Porcentaje desgaste Los Ángeles de la Piedra Reciclada.	62
Tabla 16. Densidad y Absorción de la Arena Lavada.....	63
Tabla 17. Densidad y Absorción de la Arena Reciclada.....	63
Tabla 18. Densidad y Absorción de la Piedra Picada.	64

Tabla 19. Densidad y Absorción de la Piedra Reciclada.	64
Tabla 20. Humedad de la Arena Lavada.	65
Tabla 21. Humedad de la Arena Reciclada.	65
Tabla 22. Humedad de la Piedra Picada.	66
Tabla 23. Humedad de la Piedra Reciclada.	66
Tabla 24. Relación beta.	67
Tabla 25. Componentes del diseño de mezcla.	68
Tabla 26. Dosificación de los materiales para la mezcla patrón.	68
Tabla 27. Dosificación de los materiales para la mezcla con sustitución parcial baja en 20 % de los agregados.	69
Tabla 28. Dosificación de los materiales para la mezcla con sustitución parcial baja en 30 % de los agregados.	69
Tabla 29. Dosificación de los materiales para la mezcla con sustitución parcial baja en 40 % de los agregados.	70
Tabla 30. Asentamiento	70
Tabla 31. Peso unitario promedio a los 7 días.	71
Tabla 32. Peso unitario promedio a los 14 días.	72
Tabla 33. Peso unitario promedio a los 28 días.	73
Tabla 34. Ensayo a compresión promedio a los 7 días.	74
Tabla 35. Resistencia a compresión promedio a los 14 días.	75
Tabla 36. Resistencia a compresión promedio a los 28 días.	76
Tabla 37. Velocidad de pulso ultrasónico a la edad de 28 días.	77
Tabla 38. Índice esclerométrico promedio para los 28 días.	78
Tabla 39. Carga máxima promedio aplicada en los ensayos de módulo de elasticidad a cilindros ensayados a los 28 días.	78

Tabla 40. Resultados obtenidos de ensayos de módulo de elasticidad a los 28 días mezcla patrón.	79
Tabla 41. Resultados obtenidos de ensayos de módulo de elasticidad a los 28 días mezcla 20 % de sustitución.	80
Tabla 42. Resultados obtenidos de ensayos de módulo de elasticidad a los 28 días mezcla 30 % de sustitución.	81
Tabla 43. Resultados obtenidos de ensayos de módulo de elasticidad a los 28 días mezcla 40 % de sustitución.	82
Tabla 44. Módulo de elasticidad teórico.	83

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Curva granulométrica de Arena Lavada	58
Gráfico 2. Curva granulométrica de Piedra Picada.....	59
Gráfico 3. Curva granulométrica de Arena Reciclada	60
Gráfico 4. Curva granulométrica de Piedra Reciclada.....	61
Gráfico 5. Comparación del porcentaje de desgaste de los agregados.	62
Gráfico 6. Comparación del porcentaje de absorción del agregado fino.	63
Gráfico 7. Comparación del porcentaje de absorción del agregado grueso.....	64
Gráfico 8. Comparación del porcentaje de humedad del agregado fino.	65
Gráfico 9. Comparación del porcentaje de humedad del agregado grueso.....	66
Gráfico 10. Relación Arena / Agregado Total, β (%).....	67
Gráfico 11. Comparación de los asentamientos obtenidos.	70
Gráfico 12. Peso unitario promedio a los 7 días.	71
Gráfico 13. Peso unitario promedio a los 14 días.	72
Gráfico 14. Peso unitario promedio a los 28 días.	73
Gráfico 15. Resistencia a compresión promedio a los 7 días.....	74
Gráfico 16. Resistencia a compresión promedio a los 14 días.....	75
Gráfico 17. Resistencia a compresión promedio a los 28 días.....	76
Gráfico 18. Velocidad de pulso ultrasónico promedio de las muestras de concreto a la edad de los 28 días.	77
Gráfico 19. Índice esclerométrico promedio para 28 días.	78
Gráfico 20. Módulo de elasticidad a los 28 días mezcla patrón.....	79
Gráfico 21. Módulo de elasticidad a los 28 días mezcla 20 % de sustitución.	80
Gráfico 22. Módulo de elasticidad a los 28 días mezcla 30 % de sustitución.	81

Gráfico 23. Módulo de elasticidad a los 28 días mezcla 40 % de sustitución.	82
Gráfico 24. Módulo de elasticidad teórico.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes del concreto.....	8
Figura 2. Ensayo de asentamientos del Cono de Abrams.	11
Figura 3. Esquema de disposición de emisor y receptor en el ensayo de ultrasonido.	22
Figura 4. Esquema del ensayo de rebote esclerométrico.	23
Figura 5. Cernidora mecánica modelo Gilson Screen.....	27
Figura 6. Máquina Los Ángeles.....	29
Figura 7. Picnómetro con la muestra y el agua.	31
Figura 8. Muestra saturada con superficie seca en el aire.....	33
Figura 9. Muestra saturada en el agua.....	33
Figura 10. Mezcladora de eje vertical.....	47
Figura 11. Primera capa compactación con barra normalizada.	48
Figura 12. Enrazado de probetas.....	48
Figura 13. Probetas desencofradas.....	49
Figura 14. Probetas sumergidas en agua con adición de cal.	49
Figura 15. Medición del asentamiento.....	50
Figura 16. Medición del asentamiento.....	50
Figura 17. Medición de diámetro de la probeta con Vernier.	51
Figura 18. Medición de altura de la probeta con Vernier.	51
Figura 19. Peso de la probeta en estado endurecido.	51
Figura 20. Nivelación de cilindro.....	52
Figura 21. Marcas para el ensayo esclerométrico.	54
Figura 22. Ensayo esclerométrico.....	54
Figura 25. Extensómetro.....	56

Figura 26. Extensómetro en cilindro..... 56

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I. Hoja de cálculo de diseño de mezcla patrón 1/ 2.....	101
ANEXO II. Hoja de cálculo de diseño de mezcla patrón 2/ 2	102
ANEXO VI. Dosificación para 1 m ³ diseño de mezcla con sustitución 20%	106
ANEXO VII. Dosificación para 1 m ³ diseño de mezcla con sustitución 30%	106
ANEXO VIII. Dosificación para 1 m ³ diseño de mezcla con sustitución 40%	106
ANEXO IX. Diagrama de fallas de cilindros sometidos a compresión	107
ANEXO X. Fallas de cilindros ensayados 1/2	108
ANEXO XI. Fallas de cilindros ensayados 2/2.....	109

INTRODUCCIÓN

El reciclado de los materiales de construcción está en miras de establecerse como una actividad indispensable e importante en la industria, ya que durante la construcción y/o demolición de estructuras, se generan cantidades importantes de residuos de concreto estructural, representando un problema económico, pues su deposición en vertederos va tornándose más costosa en función de las características de los mismos (Lage, 2006). Al realizar estos depósitos, no sólo se desaprovecha energía y residuos de concreto estructural (RCE) potencialmente reutilizable, sino que además se afecta de manera negativa el entorno. En tal sentido, el reciclaje de los mismos es una forma de aplacar su mala deposición, mitigando así la explotación de nuevos recursos naturales e incrementando alternativas para la producción de materiales constructivos.

El propósito de este estudio consistió en la evaluación del comportamiento mecánico del concreto estructural, sustituyendo parcialmente el agregado grueso y fino en porcentajes de 20%, 30% y 40% por residuos de concreto estructural, los cuales fueron procesados hasta la obtención del tamaño requerido para el diseño de mezcla correspondiendo con el tamaño del agregado convencional.

Para cumplir con los objetivos de la investigación se elaboró el diseño de mezcla de concreto sustituyendo parcialmente el agregado reciclado y para su posterior caracterización se realizaron ensayos a compresión, velocidad del pulso ultrasónico, módulo de elasticidad y ensayo esclerométrico.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

I.1. El problema de la investigación

Durante la ejecución y/o demolición de una obra civil se genera un porcentaje importante de RCE, que sumado a los residuos generados por los cilindros ensayados para control de calidad del concreto, representan una pérdida de materia prima compuesta principalmente del agregado natural, siendo este insumo un recurso natural no renovable. Estos residuos generan la necesidad de establecer un sitio para su deposición final, lo que a su vez representa un problema debido a la falta de planificación para su adecuado depósito.

Al realizar estos depósitos, no sólo se desaprovecha energía y RCE potencialmente reutilizable, sino que además se afecta de manera negativa el entorno. En este sentido, el reciclaje de los mismos es una forma de aplacar su mala deposición, mitigando así la explotación de nuevos recursos naturales e incrementando alternativas para la producción de materiales de construcción.

En Venezuela, el sector de la construcción ha sido uno de los principales motores de la economía del país, pues con él se ha desarrollado infraestructura y diversos servicios en pro al confort de la sociedad. En los últimos años la demanda de obras civiles ha ido en aumento sobre todo en el área de vivienda, produciendo escasez de materiales (Cámara Venezolana de la Construcción, 2014) y generando la necesidad de explotar recursos naturales para su producción.

El auge experimentado en la industria de la construcción ha implicado la generación de importantes cantidades de RCE; esta problemática afecta tanto al medio ambiente como al desarrollo económico y social del país. Pese a esto, la industria encargada no ha reportado investigaciones que precise el comportamiento del concreto estructural elaborado con RCE.

El concreto reciclado, también denominado por algunos especialistas como “concreto sustentable” es aquel constituido por agregados de materiales reciclados (en sustitución parcial o total de los naturales); es decir, agregados procedentes de residuos o demoliciones que se someten a procesos de cribado, triturado y tratamiento para formar parte del nuevo concreto (Vidaud, 2013).

En el país se ha hecho poca investigación asociada al tema, un antecedente de importancia lo representa el trabajo de Guardia y Soto (2008), quienes evaluaron las características de residuos pétreos de materiales de construcción procesados como agregados en mezclas de concreto no estructural, registrando una resistencia a compresión simple de 260 kgf/cm^2 y observando que los cilindros no cumplieron con los criterios de aceptación y rechazo. A pesar de ello, no se conoce el comportamiento y las propiedades mecánicas del concreto estructural elaborado con RCE. En tal sentido, este proyecto de trabajo especial de grado propone evaluar el comportamiento del concreto estructural elaborado con RCE triturado como alternativa para su fabricación.

En este proyecto de grado se trabajará como agregado reciclado al producto resultante de la trituración de cilindros de concreto, representativos de los RCE triturados. Estos cilindros provendrán de los ensayos a compresión llevados a cabo en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), de la Universidad Central de Venezuela (UCV).

Lo antes descrito puede englobarse en la siguiente interrogante de investigación: ¿Ofrece el concreto estructural elaborado con RCE triturado las propiedades mecánicas aceptables según la norma COVENIN?

I.2. Objetivos de la investigación

I.2.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento mecánico del concreto estructural, sustituyendo el agregado grueso y fino por residuos de concreto estructural triturado con granulometría controlada y dosificación parcial baja.

I.2.2. Objetivos específicos

I.2.2.1. Caracterizar por medio de ensayos de laboratorio las propiedades de los agregados gruesos y finos que intervendrán en la mezcla.

I.2.2.2. Diseñar la mezcla de concreto estructural elaborado con residuos de concreto estructural triturado para resistencia de 250 kgf/cm².

I.2.2.3. Caracterizar por medio de ensayos de laboratorio el concreto fresco elaborado con residuos de concreto estructural triturado.

I.2.2.4. Caracterizar por medio de ensayos de laboratorio el concreto endurecido elaborado con residuos de concreto estructural triturado.

I.2.2.5. Contrastar las características del concreto estructural elaborado con agregado fino y grueso reciclado con respecto al concreto estructural diseñado con agregados convencionales.

I.3. Justificación

La realización de este estudio presentará una alternativa para sustituir parcialmente el agregado natural por material reciclado en la elaboración del concreto estructural, contribuyendo así a la reutilización de materia prima aprovechable y disminuyendo la explotación de recursos naturales.

Constituye una valiosa fuente metodológica para nuevos trabajos de investigación, proporcionando información base que puede ser utilizada como punto de partida de investigaciones complementarias. Aportará información a la línea de investigación de la Escuela de Ingeniería Civil de la UCV y el IMME, permitiendo contar con un análisis del comportamiento mecánico del concreto estructural elaborado con agregado reciclado proveniente de la trituración de RCE.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

II.1. Antecedentes

El reciclado de materiales de construcción, indispensable hace tan sólo unos años (Guardia y Soto, 2006), ha sido caracterizado para detectar su factibilidad de uso en las mezclas de concreto estructural como sustituto parcial, con el fin de optimizar la explotación minera y disminuir el impacto ambiental.

II.1.1. Guardia Ricardo y Soto María, Trabajo Especial de Grado, residuos pétreos, 2008.

Un antecedente importante en esta línea de investigación fue el TEG realizado por Guardia Ricardo y María Soto (2008) en la Universidad Central de Venezuela. Donde evaluaron las características químicas y físico-mecánicas de residuos pétreos de materiales de construcción (RPMC) procesados como agregados en mezclas de concreto que cumplan los parámetros generalmente requeridos para elementos no estructurales y a menor costo de producción que el generado utilizando materiales convencionales.

Para el cumplimiento de los objetivos planteados elaboraron mezclas de concreto incorporando RPMC dentro de su dosificación. Los cilindros fueron sometidos a una serie de ensayos, entre ellos, ensayo a compresión simple, donde fue evaluada la resistencia de los mismos, arrojando a los 28 días una resistencia promedio de 260 kgf/cm^2 , cumpliendo con la resistencia de diseño 250 kgf/cm^2 .

II.1.2. Indara Soto Izquierdo, Uso de áridos reciclados y su empleo en hormigones estructurales, 2006.

Como objetivo se caracterizó físico y mecánicamente los hormigones elaborados con 25% y 50% de sustitución de árido grueso reciclado y definir si varía o no las propiedades de estos hormigones reciclados con respecto a un convencional. Donde concluyen que el árido estudiado, procedente de los residuos de la planta de prefabricado de Alamar, en Cuba de La Habana, cumple con las especificaciones de la investigación, arrojando a los 28 días resistencias promedio por sustitución del 25 % 300 kgf/cm² y sustitución del 50 % 285 kgf/cm².

II.2. Concreto

El concreto es una mezcla de cemento agregados inertes (arena y grava) y agua, la cual después de cierto tiempo forma una pasta endurecida (figura 1). Los elementos activos del concreto son el agua y el cemento de los cuales ocurre una reacción química que después de fraguar alcanza un estado de solidez, y los elementos inertes, que son la arena y la grava su función es formar el esqueleto de la mezcla, ocupando un gran porcentaje del volumen final del producto.

Este material de construcción es el más ampliamente utilizado por varias razones, posee una gran resistencia, puede ser moldeado gracias a su trabajabilidad

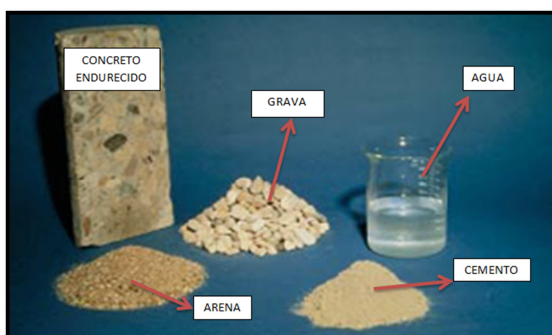


Figura 1. Componentes del concreto.

Fuente: Artículo. Ing. Karla López. Fecha: 26-May-2014

La durabilidad del concreto está íntimamente relacionada con su compacidad, porosidad y su permeabilidad. De estas tres propiedades depende en gran medida la vida útil de una estructura de concreto armado. Por esta razón desde el proyecto de la obra y la selección de la tecnología del concreto para ejecutarlo, se debe dedicar gran atención a su dosificación, producción, transporte, colocación, vibrado y curado, así como a todas las demás atenciones, que son etapas del ciclo de vida de la obra, para garantizar las cualidades exigidas al concreto. (López, Karla 2014).

II.3. Tipos de concreto

El concreto se usa en elementos estructurales de edificaciones tales como: columnas, vigas, losas, cerramientos, muros, pantallas, pistas aéreas y entre otros usos múltiples. Los agregados pueden variar con granos de gran tamaño, como el caso de represas o pueden ser pequeños para los morteros.

La consistencia del concreto puede ser muy seca, como en el caso de los elementos prefabricados, o puede lograrse muy fluida, como se recomienda para elementos de poca sección y mucha armadura. Rangos aproximados de resistencia a la compresión de diferentes tipos de concreto (Porrero y otros, 2009).

- ✓ Concreto Celular = 20- 60 kgf/cm²
- ✓ Concreto pobre= 60-160 kgf/cm²
- ✓ Concretos livianos= 140-380 kgf/cm²
- ✓ Concretos normales= 180-350 kgf/cm²
- ✓ Zonas sísmicas= 210 – 350 kgf/cm²
- ✓ Alta resistencia= 350- 800 kgf/cm²
- ✓ Concreto con fibras de acero= 350- 850 kgf/cm²
- ✓ Ultra alta resistencia= 800- 1200 kgf/cm²

II.4. Características del concreto

El concreto como material estructural se diseña para que tenga una determinada resistencia. La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica más importante de un concreto y se utiliza normalmente para calificar su calidad.

Los factores que afectan la resistencia del concreto tienen que ver con la calidad y cantidad de los elementos constructivos, como son los agregados, cemento y agua.

II.4.1. Reología

Conjunto de características de la mezcla fresca que posibilitan su manejo y posterior compactación. Desde el punto de vista físico, estas características dependen de las variaciones de viscosidad de la mezcla a lo largo del tiempo. En práctica la Reología del concreto se define con base a tres características: fluidez, compactibilidad y estabilidad a la segregación (Porrero y otros, 2009).

II.4.1.1. Fluidez

Describe la calidad del fluido o viscosidad que indica el grado de movilidad que puede tener la mezcla (Porrero y otros, 2009).

II.4.1.2. Compactibilidad

Cuando la mezcla es vibrada se hace más fluida y puede así distribuirse más uniformemente, envolviendo bien las armaduras y ocupando todas las oquedades del encofrado (Porrero y otros, 2009).

II.4.1.3. Segregación

Es la separación de los materiales que constituyen una mezcla de cemento. Entre los principales factores que producen segregación están la diferencia en tamaños de las partículas y la mala distribución granulométrica de los agregados. Otras causas se refieren a los inadecuados procesos del concreto: Mezclado, transporte, colocación y compactación.

La segregación se produce en dos formas: Las partículas gruesas tienden a separarse de las otras por acción de la gravedad, esto ocurre generalmente con mezclas secas y poco plásticas.

II.4.2. Trabajabilidad

Se define como su capacidad para ser situado, compactado adecuadamente y para ser terminado sin segregación. (Porrero y otros, 2009)

II.4.2.1. Cono de Abrams

Según la Norma COVENIN 339-1994 “*Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams.*” Construido de un material rígido de 1,5 mm. Su forma interior debe ser la de un tronco de cono, de (200 ± 2) mm de diámetro de base mayor, (100 ± 2) mm de base menor, y de (300 ± 2) mm, de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono (figura 3). El interior del molde debe ser relativamente suave y sin protuberancia tales como remaches. (Porrero y otros, 2009).

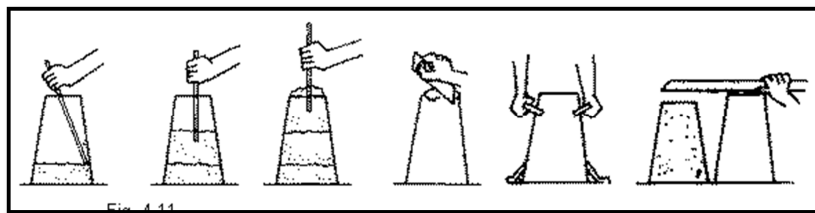


Figura 2. Ensayo de asentamientos del Cono de Abrams.
Fuente: Artículo de Tecnología del hormigón

II.4.3. Retracción

Fenómeno de encogimiento o disminución de volumen que sufre el material con el tiempo, debido principalmente a la pérdida de agua en las primeras horas y que puede llegar a producir grietas en el materia (Porrero y otros, 2009).

II.5. Exudación

Se conoce también como sangrado y consiste en que parte del agua de mezclado tiende a subirse a la superficie del concreto recién colocado o durante el proceso de fraguado.

La exudación puede crear problemas en el concreto; cuando la velocidad de la evaporación es menor que la velocidad de la exudación, se forma una película de agua que aumenta la relación agua cemento en la superficie y posteriormente esta zona queda porosa y de baja resistencia al desgaste; pero si la velocidad de evaporación es mayor que la velocidad de la exudación se pueden producir grietas de contracción (Porrero y otros, 2009).

II.6. Componentes del concreto

Aproximadamente un 80% del peso del concreto está compuesto por partículas de origen pétreo, de diferentes tamaños, material denominado usualmente como agregados, áridos o inertes. Por esta razón las características de estos materiales son decisivas para la calidad de la mezcla de concreto. La calidad de los agregados depende de las condiciones geológicas de la roca madre y, también, de los procesos extractivos (Porrero y otros, 2009).

II.7. Dosificación del concreto

Dosificar una mezcla de concreto es determinar la combinación más práctica y económica de los agregados disponibles, cemento, agua y en ciertos casos aditivos, con el fin de producir una mezcla de grado requerido de manejabilidad, que al endurecer en el tiempo apropiado adquiera las características de resistencia y durabilidad necesarias para el tipo de construcción que se vaya a utilizar (Porrero y otros, 2009).

II.8. Agregados

Los agregados son una amplia categoría de material propio grueso utilizado en la industria de la construcción, que por su diseño individual, son adecuados para propósitos específicos, bien sea grueso o fino. La fuente de los agregados o materiales naturales viene de la explotación minera.

II.8.1. Agregado grueso

El agregado grueso es la materia prima para fabricar el concreto. En consecuencia se debe usar la mayor cantidad posible, teniendo en cuenta los requisitos de colocación y resistencia (Carrasco, F. 2009).

II.8.1.1. Características del agregado grueso

- ✓ Buena gradación con tamaños intermedios, la falta de dos o más tamaños sucesivos puede producir problemas de segregación, además la presencia de un tamaño máximo adecuado a las condiciones de la estructura.
- ✓ Debe evitarse el uso de agregados planos o alargados, también una adecuada densidad.
- ✓ Las partículas con formas angulosas producen mezclas ásperas y difíciles de manejar.
- ✓ Una superficie rugosa, limpia y sin capa de arcilla.
- ✓ No debe contener terrones de arcilla, ni partículas deleznales.

- ✓ El agregado grueso debe tener una resistencia al desgaste en la máquina de los ángeles que garantice su dureza. Los límites recomendados son: Si el agregado va a ser usado en lozas de concreto o en pavimentos rígidos el desgaste debe ser menor del 35%, si va a ser usado en otras estructuras el desgaste debe ser menor del 40%.
- ✓ Agregados con partículas esféricas y cúbicas son los más convenientes para concreto, porque tienen mayor resistencia y es menor el consumo de cemento debido al mayor acomodo de las partículas, o sea mayor cantidad de material por unidad de volumen.

II.8.2. Agregado fino

Actúa como lubricante sobre los que ruedan los agregados gruesos dándole manejabilidad al concreto. Una falta de arena se refleja en la aspereza de la mezcla y un exceso de arena demanda mayor cantidad de agua para producir un asentamiento determinado, ya que entre más arena tenga la mezcla se vuelve más cohesiva y al requerir mayor cantidad de agua se necesita mayor cantidad de cemento para conservar una determinada relación agua- cemento (Carrasco, F. 2009).

II.8.2.1. Características del agregado fino

- ✓ Un buen agregado fino al igual que el agregado grueso debe ser bien gradado para que puedan llenar todos los espacios y producir mezclas más compactas. La cantidad de agregado fino que pasa los tamices 50 y 100 afecta la manejabilidad, la facilidad para lograr buenos acabados, la textura superficial y la exudación del concreto.
- ✓ El módulo de finura del agregado fino utilizado en la elaboración de mezclas de concreto.
- ✓ La presencia de materia orgánica en la arena que va a utilizarse en la mezcla de concreto llega a interrumpir parcial o totalmente el proceso de fraguado del cemento.

II.9. Granulometría

Se entiende por granulometría la composición del material en cuanto a la distribución del tamaño de los granos que lo integran. Esta característica decide, de manera muy importante, la calidad del material para su uso como componente del concreto.

II.10. Tamaño máximo

Se denomina tamaño máximo de un agregado al tamaño de sus partículas más gruesas, medido como abertura del cedazo de menor tamaño que deje pasar el 95 % o más del material (Porrero y otros, 2009).

II.11. Límites granulométricos

Son los límites entre los cuales debe estar comprendido el agregado combinado, es decir, zonas granulométricas, para que se produzcan mezclas de calidad y economía (Porrero y otros, 2009).

II.12. Relación β

Es la relación de combinación de dos agregados, fino y grueso, expresada como el cociente entero entre el peso del fino y el agregado total (Porrero y otros, 2009).

$$\beta = 100 \times A / (A + G)(\%)$$

Donde A y G son los pesos de la arena y del agregado grueso, respectivamente.

II.13. Cemento

Es el componente activo del concreto e influye en todas las características de este material. Sin embargo, el cemento constituye aproximadamente solo un 10 a un

20% del peso del concreto, siendo el 80 a 90% de materiales restantes el que condiciona la posibilidad de que se desarrollen las propiedades del concreto.

II.14. Contenido del cemento

Las características del cemento empleado en la mezcla de concreto tienen una gran influencia en la resistencia del concreto, pues es el elemento más activo de la mezcla.

Aunque todos los cementos tienen una buena calidad el incremento de resistencia con la edad no es el mismo, algunos cementos aumentan su resistencia más rápidamente a edades tempranas.

La cantidad de cemento en la mezcla, es decir su proporción, es decisiva en la resistencia, a medida que se aumenta la cantidad de cemento aumenta la resistencia, sin embargo mezclas en un alto contenido pueden presentar una contracción en la pasta de cemento al pasar del estado plástico al estado endurecido.

II.15. Cemento Portland

Según la Norma COVENIN 28-2003 "*Cemento Portland. Requisitos*". Es el producto obtenido por la pulverización del Clinker portland, el cual consiste esencialmente en silicatos de calcio hidráulico, con la adición de agua y sulfatos de calcio.

II.15.1. Clasificación del cemento Portland

Según su uso se clasifica en (Norma COVENIN 28-2003):

- ✓ Tipo I: Para usarse en las construcciones de concreto en general, cuando no se requieran las propiedades correspondientes a los otros tipos.
- ✓ Tipo II: Para usarse en obras expuestas a la acción moderada de los sulfatos, o donde requiera un calor de hidratación moderado.

- ✓ Tipo III: Puede usarse en construcciones que requieran altas resistencias iniciales.
- ✓ Tipo IV: Puede usarse en obras donde sea necesario un bajo calor de hidratación.
- ✓ Tipo V: Puede usarse en construcciones que requieran alta resistencia a los sulfatos.

II.16. Materiales de construcción reciclado

Los materiales utilizados en la construcción son de variada naturaleza, lo que determina el manejo diferenciado de los mismos, según el tipo de recursos, la cantidad en existencia, el costo de la extracción y el mayor o menor impacto que generan al ambiente.

En una aproximación general se puede realizar una clasificación de los residuos de construcción y demolición de estructuras de acuerdo al tipo de actividad y objeto de la obra que los genera. (Ver tabla A) (Aguilar, 2003).

Tabla A. Clasificación de los residuos de construcción y demolición de acuerdo con el tipo de actividad.

Actividad	Objeto	Componentes principales	Observaciones
Demolición	Viviendas	Antiguas: mampostería, ladrillo, madera, yeso, tejas.	Los materiales dependen de la edad del edificio y del uso concreto del mismo en el caso de los de servicios.
	Otros edificios:	Recientes: ladrillo, hormigón, hierro, acero, metales y plásticos.	Los materiales dependen mucho de la edad y el tipo de infraestructura a demoler. No es una actividad frecuente.
	Obras públicas	Industriales: hormigón, acero, ladrillo, mampostería.	
		Servicios: Hormigón, ladrillo, mampostería, hierro, madera.	
		Mampostería, hierro, acero, hormigón armado	
Construcción	Excavación	Tierras	Normalmente se reutilizan en gran parte.
	Edificación y Obras Públicas	Hormigón, hierro, acero, ladrillos, bloques, tejas, materiales cerámicos, plásticos, materiales no féreos. Suelo, roca, hormigón, productos bituminosos.	
	Reparación y mantenimiento		Originados básicamente por recortes, materiales rechazados por su inadecuada calidad y roturas por deficiente manipulación.
	Reconstrucción y rehabilitación	Viviendas: cal, yeso, madera, tejas, materiales cerámicos, pavimentos, ladrillo.	
		Otro: hormigón, acero, mampostería, ladrillo, yeso, cal, madera.	Generación de residuos poco significativa en el caso de edificación.

II.17. Generación y Composición de los residuos de construcción y demolición

La cuantificación del volumen de producción y composición de los residuos de construcción y demolición todavía se enfrenta al problema de la falta de datos o estadísticas fiables en muchos países, lo que ha obligado hasta el momento a manejar estimaciones efectuadas a través de cálculos indirectos o basadas en muestras de limitada representatividad.

Por otra parte, existen diversos factores que influyen claramente en el volumen y composición de los mismos generados en un determinado momento y ámbito geográfico. Entre ellos cabe destacar los siguientes:

- ✓ Tipo de actividad que origina los residuos: construcción, demolición o rehabilitación.
- ✓ Tipo de construcción que genera los residuos: edificios residenciales, industriales, de servicios, carreteras, obras hidráulicas, etc.
- ✓ Edad del edificio o infraestructura, que determina los tipos y calidad de los materiales obtenidos en los casos de demolición o reparación.
- ✓ Volumen de actividad en el sector de la construcción en un determinado período, que afecta indudablemente a la cantidad de recursos de construcción y demolición generados.
- ✓ Políticas vigentes en materia de vivienda, que condicionan la distribución relativa de las actividades de promoción de nuevas construcciones y rehabilitación de existentes o consolidación de cascos antiguos.

A continuación se resumen algunos de los datos disponibles en lo referente a producción de residuos construcción y demolición en varios países de la Unión Europea. La disponibilidad de datos desglosados por orígenes de los residuos es muy reducida por lo que, mientras no se indique lo contrario, las cifras corresponden al conjunto de los residuos de construcción y demolición producidos.

Como puede deducirse del contenido de la tabla A, la fiabilidad de las cifras en ella expresadas varía ampliamente de un país a otro, lo cual refleja en buena medida los diferentes niveles de atención que los gobiernos y empresas privadas del sector prestan a este tema en los distintos ámbitos considerados. A este respecto, los valores estimados para Alemania, Dinamarca, Holanda y Reino Unido son los que cuentan con mayor respaldo, siendo por otra parte estos países los que han profundizado más en la materia (Aguilar, 2003).

Tabla B. Cifras de producción de residuos de construcción y demolición en los países de la UE.

País	Producción (miles T.)	Producción per cápita (kg./hab./año)	Observaciones
Alemania	53.000	880	Sólo antigua RFA
Bélgica	7.000	700	-1
Dinamarca	6.500	1.275	
España	11.000	285	-2
Francia	30.400	580	Datos de 1978
Grecia	N. D.	N. D.	
Holanda	14.000	940	
Irlanda	400	110	-1
Italia	2.750	50	Datos de 1977 (3)
Luxemburgo	48	185	Datos de 1976 (3)
Portugal	400	45	-1
Reino Unido	50.000	900	-1

II.18. Diseño de mezcla

Según Porrero y otros, el diseño de mezcla de concreto consiste en dosificar de manera adecuada todos los componentes a intervenir en dicha mezcla, con el fin de obtener el comportamiento deseado, tanto en estado fresco como endurecido.

En algunos casos puede ser importante el peso unitario, textura superficial, entre otros. Las cantidades de los componentes sólidos, agregados y cemento, suelen expresarse en kilogramos por metro cúbico de mezcla. El agua puede expresarse en litros o kilogramos en el entendido que, para el diseño de mezclas un kilogramo de agua equivale a un litro de agua.

Un método de diseño de mezcla puede llegar a ser muy complejo si considera un gran número de variables y una gran precisión de sus relaciones, pero al mismo tiempo, debe ser de fácil manejo y operatividad. Lo acertado es lograr un equilibrio entre ambos extremos.

II.19. Ley de Abrams

Ley experimental según la cual la resistencia de una mezcla consistente como el concreto, viene determinada por la proporción de la cantidad de agua y de cemento que se añade a dicha mezcla, que resulta ser inversamente proporcional (Porrero y otros, 2009).

La relación agua-cemento es el factor más importante en la resistencia del concreto. Una determinada relación agua-cemento produce distintas resistencias de acuerdo al tipo de agregado utilizado y al tipo de cemento.

$$\alpha = a/C$$

Donde a es la cantidad de agua en kgf/m^3 y C es la dosis de cemento kgf/m^3 .

II.20. Relación triangular

Esta es una expresión que relaciona la trabajabilidad (T) medida como asentamiento en el Cono de Abrams con dos parámetros claves de diseño de mezclas, como son: la relación agua/cemento (α) y la dosis de cemento (Porrero y otros, 2009).

$$C = k \times T^n / \alpha^m \text{ (kgf/m}^3\text{)}$$

Donde C es la dosis de cemento, α es la relación agua / cemento, T es el asentamiento en cm y k, m, n son constantes que dependen de las características de los materiales.

II.21. Resistencia Promedio Requerida (Fcr)

También denomina “resistencia del diseño de mezcla”, no es otra que la resistencia media esperada para el material a ser elaborado. Como medida de seguridad, esa resistencia siempre debe superar la “resistencia a compresión especificada en el proyecto” (Porrero y otros, 2009).

II.22. Proceso de curado

El proceso que se utiliza para mantener la humedad y temperatura en concreto nuevo y fresco por un periodo lo suficientemente prolongado como para que el concreto desarrolle su resistencia de diseño, el curado tiene por objetivo evitar un secado prematura, especialmente bajo la acción de los rayos del sol.

II.23. Velocidad del pulso ultrasónico

Este ensayo consiste en medir el tiempo que tarda el pulso ultrasónico en atravesar la masa de concreto que se está evaluando. La técnica más común y confiable consiste en colocar, en dos caras opuestas a estudiar, enfrentados, el emisor en una y el receptor de las ondas ultrasónicas en la otra. Ambos terminales deben establecer un buen contacto con la superficie del concreto, evitando vacíos intermedios donde resulta muy baja la velocidad de propagación; para lograr ese buen

contacto, a los terminales se les unta una capa de grasa especial. Ambos están conectados a un dispositivo que, por interferencia electrónica, indica el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de la onda (figura 3) (Porrero y otros, 2009).

Este método puede ser usado para el estudio de la homogeneidad de los concretos puestos en obra, para la indicación de cambios de algunas características y para la estimación del estado de agrietamiento o deterioro de estructuras de concreto (Norma COVENIN 1681-1980).

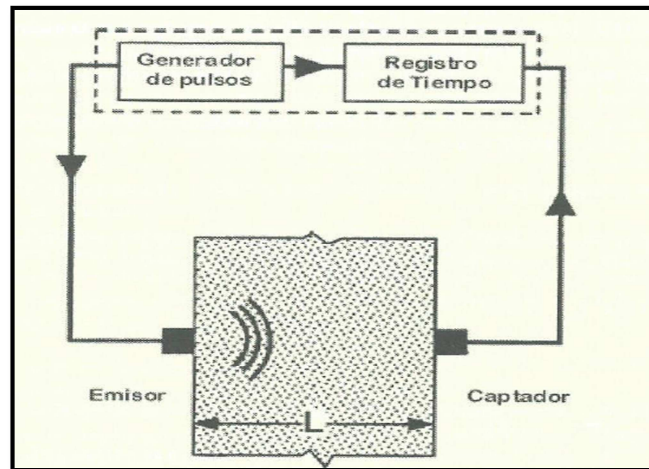


Figura 3. Esquema de disposición de emisor y receptor en el ensayo de ultrasonido.
Fuente: Porrero y otros S. Joaquín (2009), "Manual del concreto estructural"

II.24. Esclerometría

La dureza esclerométrica es el rechazo que se produce al aplicar un impacto con un instrumento adecuado sobre una superficie de concreto endurecido.

El objetivo es dar a conocer la uniformidad de la calidad, mediante un gran número de observaciones no destructivas; también permite estimar la resistencia a compresión de estos concretos (Norma COVENIN 1609-1980).

El índice esclerométrico se obtiene de promediar los resultados obtenidos en los ensayos, con esto se refleja un valor comparativo para la estimación de la calidad del concreto.

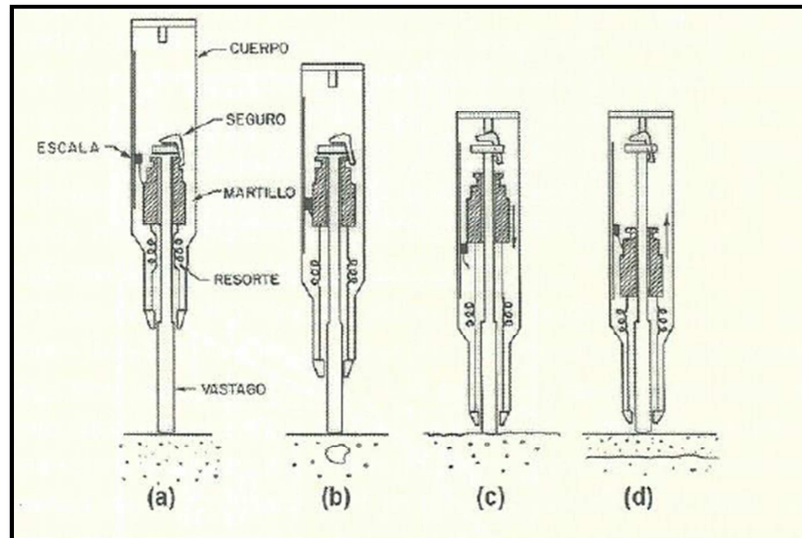


Figura 4. Esquema del ensayo de rebote esclerométrico.
Fuente: Porrero y otros S. Joaquín (2009), “Manual del concreto estructural”

II.25. Resistencias mecánicas

Se debe al cemento y es la propiedad del material que tiene mayor influencia con fines estructurales, ya que las estructuras de concreto armado se encuentran sometidas a sollicitaciones variadas como compresión, corte, tracción, entre otras.

En probetas de concreto, las mezclas debe ser estrictamente igual en todos los aspectos, incluid la condición del ensayo, sin embargo no es practico ni económico realizar el control de todos los estados tensionales, por lo que se acostumbra a compresión simple en probetas normalizadas y a partir de los resultados obtenidos se infieren los valores de otras características mecánicas tales como la resistencia a la tracción o al corte.

En normas correspondientes al cálculo de estructuras de concreto armado se correlaciona empíricamente la resistencia del concreto bajo diversos estudios de sollicitación con el valor de la resistencia en compresión simple, por ello es necesario conocer esa propiedad y la definir criterios de interpretación (Porrero y otros, 2009).

CAPITULO III

MÉTODO

En este capítulo se explica de manera puntualizada los procedimientos y normativas que permitieron realizar un análisis completo de diseños de mezclas patrón y diseños de mezclas con sustitución parcial baja de los agregados por RCE triturado. Los porcentajes de sustitución fueron suministrados por el profesor Cesar Peñuela en las proporciones de 20%, 30% y 40%.

El diseño de este trabajo de investigación fue de tipo experimental y para el logro de los objetivos se tomó como apoyo el siguiente esquema metodológico:

- I. Búsqueda y almacenamiento de materiales.
- II. Caracterización de los agregados.
- III. Diseño de mezcla.
- IV. Mezclado del material.
- V. Preparación de cilindros.
- VI. Caracterización del concreto fresco.
- VII. Caracterización del concreto endurecido.
- VIII. Comparación con mezclas patrones.

III.1. Búsqueda y almacenamiento de materiales

El material usado para el diseño de mezcla fue donado por la Empresa BZS CONSTRUCCIÓN, S.A. en las siguientes proporciones: $\frac{1}{2}$ m³ de piedra triturada, $\frac{1}{2}$ m³ de arena lavada y cuatro (4) sacos de cemento Portland Tipo I. Los mismos fueron trasladados hasta las instalaciones del IMME donde se colocaron en sacos sellados y almacenados bajo techo para controlar la humedad de los mismos.

El agregado reciclado fue donado por el IMME – UCV, proveniente de la trituración de los cilindros de concreto estructural ensayados a compresión, como muestra representativa del concreto estructural. Con base a la información suministrada por el Profesor Cesar Peñuela, este material reciclado fue considerado como concreto estructural, ya que presentó un rango de resistencias entre 210 kgf/cm² y 350 kgf/cm². Sin embargo, se desconocía el tipo de cemento utilizado para estos cilindros.

III.2. Caracterización de los agregados

III.2.1. Granulometría

Para la realización de este ensayo se siguió el procedimiento establecido en la Norma COVENIN 255-1998 “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”. El proceso fue dividido en dos partes una para la granulometría del agregado fino y otra para la granulometría del agregado grueso tanto del agregado natural como del agregado reciclado.

Los equipos e instrumentos utilizados para la realización de este ensayo fueron los que se encuentran en las instalaciones del IMME.

El tamizado de los agregados gruesos se realizó a través de una cernidora mecánica modelo Gilson Screen (figura 5) pasándose el material por los cedazos 1 $\frac{1}{2}$ ”, 1”, $\frac{3}{4}$ ”, $\frac{1}{2}$ ”, $\frac{3}{4}$ ” y $\frac{1}{4}$ ”, mientras que el tamizado de los agregados finos se realizó manualmente por los cedazos $\frac{3}{4}$ ”, $\frac{1}{2}$ ”, $\frac{3}{4}$ ”, $\frac{1}{4}$ ”, #4, #8, #16, #30, #50 y #100.

Se determinó el pasante #200 del agregado fino reciclado siguiendo el procedimiento de la Norma COVENIN 258-1988. “*Método de ensayo para la determinación por lavado del contenido de materiales más finos que el cedazo COVENIN 74 micras en agregados minerales*”, el cual consistió en realizar un lavado de la muestra sobre el tamiz #200 y secar al horno el material retenido sobre dicho tamiz.

$$\%F = \frac{w_0 - w_1}{w_0} \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

%F: Porcentaje más fino que el cedazo COVENIN 74 micras (#200).

w0: Peso seco original de la muestra (kg).

w1: Peso seco de la muestra después de lavada (kg).



Figura 5. Cernidora mecánica modelo Gilson Screen.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 20-Mar-2014

III.2.2. Desgaste Los Ángeles

Este ensayo se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en la Norma COVENIN 266-1977 “Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste de agregados grueso, menores de 38,1 mm (1 1/2”), por medio de la máquina Los Ángeles”.

Una vez realizado el ensayo de granulometría, se clasificó el material según su gradación usando la tabla 1, luego, se determinó la carga abrasiva o número de esferas a colocar en la máquina de ensayo de abrasión Los Ángeles (figura 6) según la tabla 2.

Tabla 1. Gradaciones de muestras de ensayo.

Fuente: Norma COVENIN 266 - 1977. Fecha: 21-Mar-2014

GRADACIONES DE MUESTRAS DE ENSAYO					
TAMAÑO DEL CEDAZO Aberturas Cuadradas		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (g)			
Pasa	Retenido en	A	B	C	D
38,1 mm (1 1/2")	25,4 mm (1")	1250 ₋₂₅			
25,4 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1250 ₋₂₅			
19,0 mm (3/4")	12,7 mm (1/2")	1250 ₋₁₀	2500 ₋₁₀		
12,7 mm (1/2")	9,51mm (3/8")	1250 ₋₁₀	2500 ₋₁₀		
9,51 mm (3/8")	6,35mm (1/4")			2500 ₋₁₀	
6,35 mm (1/4")	4,76mm (#4)			2500 ₋₁₀	
4,76 mm (#4)	2,38mm (#8)				5000 ₋₁₀
TOTAL		5000 ₋₁₀	5000 ₋₁₀	5000 ₋₁₀	5000 ₋₁₀

Tabla 2. Carga abrasiva o número de esperas.

Fuente: Norma COVENIN 266 - 1977. Fecha: 21-Mar-2014.

GRADACION	NUMEROS DE ESFERAS	PESO DE LA CARGA (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15



Figura 6. Máquina Los Ángeles.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 18-Mar-2014

Finalmente la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra de ensayo se expresa como porcentaje del peso original, este valor se tomó como el porcentaje de desgaste y se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ desgaste} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde:

Pi: Peso inicial de la muestra (kg).

Pf: Peso final de la muestra luego de pasar por el tamiz #12 (kg).

III.2.3. Absorción y Peso específico

Para el agregado fino se realizó el ensayo de peso específico y porcentaje de Absorción del agregado según la Norma COVENIN 268-1998 “*Agregado Fino. Determinación de la densidad y la absorción*” y para el agregado grueso según el procedimiento de Norma COVENIN 269-1998 “*Agregado Grueso. Determinación de la densidad y la absorción*”. Ambos ensayos fueron realizados tanto para los agregados naturales como para los agregados reciclados.

Para el agregado fino se tomó una muestra representativa de 3000 g que fue sumergida en agua durante aproximadamente 24 horas, para así lograr la saturación de los poros. Posteriormente se extendió la muestra en un molde y se secó la superficie del material con una estufa, removiendo la muestra con frecuencia, para tratar de garantizar un secado homogéneo y controlando este procedimiento por medio del ensayo del cono especificado en la norma.

A continuación se introdujeron 500 g de la muestra saturada con superficie seca (SSS) en el picnómetro, luego se añadió de forma gradual agua retirando las burbujas de aire como lo indica la Norma. Posteriormente se incorporó más agua hasta la marca de calibración donde se determinó la masa del picnómetro con la muestra y el agua (figura 7).



Figura 7. Pícnómetro con la muestra y el agua.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 25-Mar-2014.

Luego se retiró el material del picnómetro y se secó a 100° C en el horno durante aproximadamente 24 horas, para así determinar la masa de la muestra seca.

Finalmente se determinó la densidad aparente y la absorción según las ecuaciones 3 y 4.

$$\rho\alpha = \frac{d \cdot M_1}{M_a + M - M_p} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$A = \frac{M - M_1}{M_1} * 100 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Dónde:

$\rho\alpha$: Densidad aparente (g/ml)

d: Densidad del agua (1g/ml).

M_1 : Masa en el aire de la muestra secada al horno (g).

M: Masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g).

M_a : Masa del picnómetro con agua (g).

M_p : Masa del picnómetro con la muestra y el agua (g).

A: Absorción (%).

Para el agregado grueso, se sumergió en agua aproximadamente 12000 g del agregado durante 24 horas aproximadamente, luego se removió el agua, se secó la superficie de las partículas. Se tomó aproximadamente 5000 g de la muestra saturada con superficie seca (g) y se sumergió en agua determinando su masa (figura 8 y 9). Con las masas obtenidas se realizó el cálculo de la densidad, con las siguientes fórmulas:

$$\rho_s = \frac{d * M_2}{M_2 - M_3} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$A = \frac{M - M_1}{M_1} * 100 \quad (\text{Ecuación 6})$$

Dónde:

ρ_s : Densidad aparente de la muestra saturada y con superficie seca (g/ml).

d: Densidad del agua (1g/ml).

M_1 : Masa en el aire de la muestra secada al horno (g).

M_2 : Masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g).

M_3 : Masa en el agua de la muestra saturada (g).

A: Absorción (%).



Figura 8. Muestra saturada con superficie seca en el aire.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 25-Mar-2014



Figura 9. Muestra saturada en el agua.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 25-Mar-2014

III.2.4. Contenido de humedad

El contenido de humedad se determinó siguiendo el procedimiento de la Norma COVENIN 1375-1979 “*Método de ensayo para determinar por secado, el contenido de humedad total y superficial del agregado*”, tanto para los agregados naturales como para los agregados reciclados.

Los agregados fueron colocados en sacos sellados y almacenados bajo techo, de esta manera se tuvo un mejor control de humedad.

En términos generales este ensayo consistió en tomar una muestra húmeda del agregado por cada saco, para el agregado grueso se tomaron aproximadamente 3000 g y para el agregado fino aproximadamente 500 g, luego se colocaron las muestras en el horno para su posterior secado a 100°C, transcurridas 24 horas se determinaron las masas secas de cada muestra.

$$\omega = \frac{(W - W_s)}{W_s} * 100 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Dónde:

ω : Porcentaje de humedad (%)

W: Peso húmedo de la muestra de agregado (g).

W_s : Peso de muestra de agregado secada al horno (g).

III.3. Diseño de mezcla

El método utilizado para el diseño de mezcla fue el descrito en el Manual de Concreto Estructural (MCE) de Joaquín Porrero y otros conforme con la Norma COVENIN 1753:03, el cual ha sido probado en laboratorios y plantas de preparación de comercial de concreto, con excelentes resultados (Porrero y otros, 2009). Siendo este un método organizado y sistemático que admite la utilización de agregados poco controlados y puede ser aplicado por profesionales con relativa poca experiencia.

Este método considera las siguientes variables fundamentales: dosis de cemento, trabajabilidad, relación agua/cemento y resistencia. Estas se vinculan a través de dos leyes básicas: Relación Triangular y Ley de Abrams. Además, toma en cuenta la influencia del tamaño máximo y tipo de agregado mediante factores de corrección.

El diseño establece la relación entre el agregado fino y grueso (β) de manera independiente del resto del procedimiento, lo que permite cambiar dicha proporción β , sin alterar la dosis del resto de los componentes.

Para determinar la dosificación de los agregados en los diseños de mezclas elaborados con RCE, se realizó una sustitución parcial volumétrica en las proporciones de 20%, 30% y 40%, partiendo de los volúmenes de agregados obtenidos para de mezcla patrón, es decir, manteniendo la misma relación agua/cemento (α) y la misma relación beta (β).

A continuación se describirá el procedimiento seguido y formulario utilizado en el cálculo de la dosificación de los distintos componentes de las mezcla de concreto:

III.3.1. Relación Beta (β)

Esta relación se determinó gráficamente a través del método grafico explicado en Manual del Concreto Estructural (Porrero y otros 2009), el cual se describirá a continuación:

Sobre cada una de las rectas de proporcionalidad se señalaron los límites correspondientes según la tabla 3 en función del tamaño máximo del agregado.

Tabla 3. Límites Granulométricos recomendados para distintos tamaños máximos del agregado. Porcentajes pasantes.

(Porrero y otros, 2009).

LÍMITES GRANULOMÉTRICOS RECOMENDADOS PARA DISTINTOS TAMAÑOS MÁXIMOS DEL AGREGADO. PORCENTAJES PASANTES											
CEDAZO		TAMAÑOS MÁXIMOS: mm (PULGADAS)									
ABERTURA		88,9	76,2	63,5	50,8	38,1	25,4	19,1	12,7	9,53	6,35
mm	pulg	(31/2)	(3)	(21/2)	(2)	(11/2)	(1)	(3/4)	(1/2)	(3/8)	(1/4)
88,9	3 1/2	100-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76,2	3	95-80	100-90	-	-	-	-	-	-	-	-
63,5	2 1/2	92-60	92-70	100-90	-	-	-	-	-	-	-
50,8	2	85-50	87-55	87-65	100-90	-	-	-	-	-	-
38,1	1 1/2	76-40	80-45	80-55	87-73	100-90	-	-	-	-	-
25,4	1	68-33	72-38	73-47	77-59	84-70	100-90	-	-	-	-
19,1	3/4	63-30	68-35	68-43	73-53	77-61	90-70	100-90	-	-	-
12,7	1/2	57-28	62-32	62-37	68-44	70-49	75-55	85-65	100-90	-	-
9,53	3/8	53-25	58-30	60-35	65-40	65-43	68-45	75-55	98-90	100-90	-
6,35	1/4	45-22	48-25	58-30	60-35	60-35	60-35	65-45	65-51	73-61	100-90
4,76	#4	45-22	48-25	50-28	55-30	55-30	55-30	60-38	58-42	62-48	65-52
2,38	#8	40-20	43-20	45-20	45-20	45-20	45-20	45-20	43-37	40-26	38-26
1,19	#16	35-15	35-15	35-15	35-15	35-15	35-15	35-15	31-17	26-14	21-9
0,59	#30	25-10	25-10	25-10	25-10	25-10	25-10	25-10	20-10	13-5	8-2
0,29	#50	16-7	16-7	16-7	16-7	16-7	16-5	16-5	11-5	7-3	5-1
0,14	#100	8-2	8-2	8-2	8-2	8-2	8-1	8-1	6-1	5-1	2-0

La relación β más apropiada y con la que se trabajó en el diseño de mezcla fue la ubicada a medio camino entre la β promedio y la β límite de la combinación más gruesa.

III.3.2. Resistencia Promedio Requerida (Fcr)

Partiendo de una desviación estándar desconocida, se utilizó la tabla 4, la cual, estima el sumando $z\sigma$ en función del grado de control previsto en obra y del nivel de resistencias.

$$Fcr = Fc + z\sigma \quad (\text{Ecuación 8})$$

Tabla 4. Resistencia promedio a la compresión, Fcr, cuando no se dispone de datos para establecer la desviación estándar.

(Porrero y otros, 2009).

RESISTENCIA ESPECIFICADA A LA COMPRESIÓN Fc (kgf/cm ²)	RESISTENCIA REQUERIDA A LA COMPRESION Fcr (kgf/cm ²)		
	CONTROL DE CALIDAD EXCELENTE	CONTROL DE CALIDAD INTERMEDIO	SIN CONTROL DE CALIDAD
	Menor de 210 ⁽²⁾	Fc + 45	Fc + 80
De 210 a 350	Fc + 60	Fc + 95	Fc + 170
Más de 350	Fc + 75	Fc + 110	Fc + 210

Para el diseño de mezcla se trabajó con una $Fc = 250 \text{ kgf/cm}^2$ y con un control de calidad excelente, debido a los ensayos realizados a los agregados, garantizando las propiedades de cada patrón de diseño se correspondan con las propiedades mecánicas del concreto vaciado.

Finalmente, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Fcr = Fc + 60 \quad (\text{Ecuación 9})$$

Dónde:

Fcr: Resistencia promedio requerida a la compresión (kgf/cm²).

Fc: Resistencia de cálculo o resistencia a compresión especificada en el proyecto (kgf/cm²).

III.3.3. Relación agua / cemento (α)

Esta variable de diseño se obtuvo a través de la Ley de Abrams:

$$\alpha = 3,147 - 1,065 \cdot \log R_{28} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad \text{(Ecuación 10)}$$

Dónde:

α : Relación agua /cemento.

R_{28} : Resistencia media esperada a los 28 días (kgf/cm²).

III.3.4. Relación agua / cemento corregida (α_c)

La influencia del tamaño máximo se corrigió a través de un factor que se simbolizó como K_R y la del tipo de agregado como K_A . Las tablas 5 y 6 recogen los valores de los factores K_R y K_A para situaciones promedio.

$$\alpha_c = \alpha \cdot K_R \cdot K_A \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Dónde:

α_c : Relación agua /cemento corregida.

α : Relación agua /cemento.

K_R : Factor para corregir α por tamaño máximo.

K_A : Factor para corregir α por tipo de agregado.

Tabla 5. K_R Factor para corregir α por tamaño máximo, mm (Pulgadas).

(Porrero y otros, 2009).

KR FACTOR PARA CORREGIR α POR TAMAÑO MÁXIMO, mm (PULGADAS)										
TAMAÑO	6,35	9,53	12,7	19,1	25,4	38,1	50,8	63,5	76,2	
MÁXIMO	(1/4)	(3/8)	(1/2)	(3/4)	(1)	(1 1/2)	(2)	(2 1/2)	(3)	
FACTOR K_R	1,60	1,30	1,10	1,05	1,00	0,91	0,82	0,78	0,74	

Tabla 6. K_A Factor para corregir α por tipo de agregado.

(Porrero y otros, 2009).

KA FACTOR PARA CORREGIR α POR TIPO DE AGREGADO			
GRUESOS	Triturados	Semitriturados	Canto Rodado (Grava Natural)
FINOS			
Arena natural	1,00	0,97	0,91
Arena triturada	1,14	1,10	0,93

III.3.5. Dosis de cemento (C)

Esta variable de diseño se obtuvo a través de la relación triangular mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{k \cdot T^n}{\alpha^m} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Dónde:

C: Dosis de cemento (kgf/m^3).

α : a/C: Relación agua / cemento en peso.

T: Asentamiento en el Cono de Abrams (cm).

K, m y n: Constantes que dependen de las características de los materiales componentes de la mezcla y de las condiciones en que se elabora.

Como se trabajó con agregado grueso triturado de 25,4 mm de tamaño máximo, arena natural y cemento Portland Tipo I, se trabajó con los siguientes ajustes para las constantes k, m y n según el Manual del Concreto Estructural:

$$C = \frac{117.2 \cdot T^{0.16}}{\alpha^{1.3}} \quad (\text{Ecuación 13})$$

III.3.6. Dosis de cemento corregida (C_c)

La influencia del tamaño máximo se corrigió a través de un factor que se simbolizó como C_1 y la del tipo de agregado como C_2 . Las tablas 7 y 8 recogen los valores de los factores C_1 y C_2 para situaciones promedio.

$$C_c = C \cdot C_1 \cdot C_2 \quad (\text{Ecuación 14})$$

Dónde:

C_c : Dosis de cemento corregida (kgf/m^3).

C : Dosis de cemento (kgf/m^3).

C_1 : Factor para corregir C por tamaño máximo.

C_2 : Factor para corregir C por tipo de agregado.

Tabla 7. C_1 Factor para corregir C por tamaño máximo, mm (Pulgadas).

(Porrero y otros, 2009).

C_1 FACTOR PARA CORREGIR C POR TAMAÑO MÁXIMO, mm (PULGADAS)									
TAMAÑO	6,35	9,53	12,7	19,1	25,4	38,1	50,8	63,5	76,2
MÁXIMO	(1/4)	(3/8)	(1/2)	(3/4)	(1)	(1 1/2)	(2)	(2 1/2)	(3)
FACTOR C_1	1,33	1,20	1,14	1,05	1,00	0,93	0,88	0,85	0,82

Tabla 8. C_2 Factor para corregir α por tamaño máximo, mm (Pulgadas).

(Porrero y otros, 2009).

C_2 FACTOR PARA CORREGIR C POR TIPO DE AGREGADO			
	GRUESOS		
FINOS	TRITURADOS	SEMITRITURADOS	CANTO RODADO (GRAVA NATURAL)
Arena natural	1,00	0,93	0,90
Arena triturada	1,28	1,23	0,96

III.3.7. Volumen absoluto de los granos de cemento (V_C)

Para el caculo, en la práctica, se recomienda multiplicar el peso del cemento por el valor 0,3 (Porrero y otros, 2009).

$$V_c = 0,33 \cdot C_c \quad (\text{Ecuación 15})$$

Dónde:

V_C : Volumen absoluto de los granos de cemento (l/m^3).

C_C : Dosis de cemento corregida (kgf/m^3).

III.3.8. Volumen absoluto del agua (Ad)

$$Ad = C_c \cdot \alpha_c \quad (\text{Ecuación 16})$$

Dónde:

Ad : Volumen absoluto del agua (kgf/m^3).

C_C : Dosis de cemento corregida (kgf/m^3).

α_c : Relación agua / cemento corregida.

III.3.9. Volumen de aire atrapado (V_a)

$$V_a = C_c/P \quad (\text{Ecuación 17})$$

Dónde:

V_a : Volumen de aire atrapado (l/m^3).

C_c : Dosis de cemento corregida (kgf/m^3).

P : Tamaño máximo (mm).

III.3.10. Volumen absoluto de los agregados

Para conocer el volumen de los agregados combinados, se calculó el peso específico del agregado combinado y el volumen absoluto de los agregados a través de las ecuaciones 19 y 20 respectivamente.

$$\gamma_{A+G} = \gamma_G \cdot (1 - \beta) + \gamma_A \cdot \beta \quad (\text{Ecuación 18})$$

Dónde:

γ_{A+G} : Peso específico de los agregados combinados (kgf/l).

γ_A : Peso específico del agregado fino (kgf/l).

γ_G : Peso específico del agregado grueso (kgf/l).

β : Relación arena / agregado (%).

$$V_{A+G} = (A + G) / \gamma_{A+G} \quad (\text{Ecuación 19})$$

Dónde:

V_{A+G} : Volumen absoluto de los agregados (l/m^3).

A: Dosis de agregado fino (kgf/m^3).

G: Dosis de agregado grueso (kgf/m^3).

γ_{A+G} : Peso específico de los agregados combinados (kgf/l).

III.3.11. Volumen y Dosis de Agregados.

Para preparar un metro cubico de mezcla, la suma de los volúmenes absolutos de todos los componentes debe ser igual a 1.000 litros, entonces:

$$V_C + V_a + A_d + V_{A+G} = 1.000 \quad (\text{Ecuación 20})$$

Dónde:

V_C : Volumen absoluto de los granos de cemento (l/m^3).

V_a : Volumen de aire atrapado (l/m^3).

A_d : Volumen absoluto del agua (kgf/m^3).

V_{A+G} : Volumen absoluto de los agregados (l/m^3).

Para calcular los pesos de A y G de los agregados fino y grueso, respectivamente, se utilizó la expresión β (Ecuaciones 22 y 23):

$$A = \beta (A + G) \quad (\text{Ecuación 21})$$

$$G = (1 - \beta) (A + G) \quad (\text{Ecuación 22})$$

Dónde:

A: Peso del agregado fino (kgf/m³).

G: Peso del agregado grueso (kgf/m³).

III.3.12. Dosificación de los materiales para la mezcla patrón

III.3.12.1. Corrección por humedad

$$G_{SSS} = G_W \cdot \frac{(100 + Ab_G)}{(100 + w_G)} \quad (\text{Ecuación 23})$$

$$A_{SSS} = A_W \cdot \frac{(100 + Ab_A)}{(100 + w_A)} \quad (\text{Ecuación 24})$$

Dónde:

G_{SSS}: Peso del agregado grueso saturado con superficie seca (kgf/m³).

A_{SSS}: Peso del agregado fino saturado con superficie seca (kgf/m³).

G_W: Peso del agregado grueso húmedo (kgf/m³).

A_W: Peso del agregado fino húmedo (kgf/m³).

Ab_G: Absorción del agregado grueso (%).

Ab_A: Absorción del agregado fino (%).

w_G: Humedad del agregado grueso (%).

w_A: Humedad del agregado fino (%).

III.3.12.2. Agua de mezclado

$$A_M = A_d + A_{SSS} - A_W + G_{SSS} - G_W \quad (\text{Ecuación 25})$$

Dónde:

A_M : Cantidad de agua a usar en la mezcla (l/m^3).

A_d : Dosis de agua calculada en el diseño de mezcla (l/m^3).

A_{ss} , G_{ss} : Dosis de agregados supuestos saturados con superficie seca (l/m^3).

A_w , G_w : Pesos de los agregados en cualquier condición de humedad (l/m^3).

III.3.13. Dosificación de los materiales para las mezclas con sustitución parcial baja de los agregados en 20%, 30% y 40%.

III.3.13.1. Corrección por humedad

III.3.13.2. Dosificación

Se realizaron 10 Cilindros para el diseño de mezcla patrón, conocido el volumen requerido para la elaboración de los mismos $0,53 m^3$ y considerando un porcentaje de desperdicio del 15%, se determinó el peso de cada uno de los materiales utilizados, a través de la relación obtenida para $1 m^3$.

$$G_{SSS} = G_w \cdot \frac{(100+Ab_G)}{(100+w_G)} \quad (\text{Ecuación 26})$$

$$A_{SSS} = A_w \cdot \frac{(100+Ab_A)}{(100+w_A)} \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$G_{RSSS} = G_{RW} \cdot \frac{(100+Ab_{RG})}{(100+w_{RG})} \quad (\text{Ecuación 28})$$

$$A_{RSSS} = A_{RW} \cdot \frac{(100+Ab_{RA})}{(100+w_{RA})} \quad (\text{Ecuación 29})$$

Dónde:

G_{SS} : Peso del agregado grueso saturado con superficie seca (kgf/m^3).

A_{SS} : Peso del agregado fino saturado con superficie seca (kgf/m^3).

G_{RSS} : Peso del agregado grueso reciclado saturado con superficie seca (kgf/m^3).

A_{RSS} : Peso del agregado fino reciclado saturado con superficie seca (kgf/m^3).

G_w : Peso del agregado grueso húmedo (kgf/m^3).

A_w : Peso del agregado fino húmedo (kgf/m^3).

G_{RW} : Peso del agregado grueso reciclado húmedo (kgf/m^3).

A_{RW} : Peso del agregado fino reciclado húmedo (kgf/m^3).

Ab_G : Absorción del agregado grueso (%).

Ab_A : Absorción del agregado fino (%).

Ab_{RG} : Absorción del agregado grueso reciclado (%).

Ab_{RA} : Absorción del agregado fino reciclado (%).

w_G : Humedad del agregado grueso (%).

w_A : Humedad del agregado fino (%).

w_{RG} : Humedad del agregado grueso reciclado (%).

w_{RA} : Humedad del agregado fino reciclado (%).

III.3.13.3. Agua de mezclado

$$A_M = A_d + A_{SSS} - A_W + A_{RSSS} - A_{RW} + G_{SSS} - G_W + G_{RSSS} - G_{RW} \quad (\text{Ecuación 30})$$

Dónde:

A_M : Cantidad de agua a usar en la mezcla (l/m^3).

A_d : Dosis de agua calculada en el diseño de mezcla (l/m^3).

A_{SSS} , G_{SSS} ; A_{RSSS} , G_{RSSS} : Dosis de agregados supuestos saturados con superficie seca (l/m^3).

A_W , G_W , A_{RW} , G_{RW} : Pesos de los agregados en cualquier condición de humedad (%).

III.3.13.4. Dosificación

Se realizaron 10 Cilindros por cada uno de los diseños de mezcla con sustitución parcial de los agregados, conocido el volumen requerido para la elaboración de los mismos $0,53 \text{ m}^3$ por cada diseño de mezcla y considerando un porcentaje de desperdicio del 15%, se determinó el peso de cada uno de los materiales utilizados, a través de la relación obtenida para 1 m^3 .

III.4. Mezclado del material

El mezclado del concreto estructural se realizó de acuerdo a lo establecido en la Norma COVENIN 354-2001 “*Método para mezclado en el laboratorio*”, la cual contempla el método para mezclado, a mano o a máquina.

Los materiales utilizados fueron: Piedra picada con tamaño máximo de 1”, arena lavada, cemento Portland tipo I y agregado reciclado.

El procedimiento que se siguió en el laboratorio en primer lugar fue el pesaje de cada material a utilizar de acuerdo a las dosificaciones obtenidas por el diseño de mezcla correspondiente. El mezclado del concreto se realizó en una mezcladora de eje vertical (figura 10) con capacidad de 75 litros, seguidamente se incorporó la

piedra picada, luego se agregó poco menos de la mitad de agua estimada para el diseño de mezcla, arena lavada, cemento y el agua restante, consecutivamente se dejó mezclar durante 2 min, con la finalidad de cubrir los agregados con la pasta de cemento, produciendo una masa homogénea.



Figura 10. Mezcladora de eje vertical.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 07-Abr-2014

III.5. Preparación y curado de cilindros

El procedimiento utilizado para la preparación de las probetas fue el especificado en la Norma COVENIN 338-2002 “*Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto*”.

Se utilizaron moldes cilíndricos metálicos rígidos de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura con superficie interior lisa. Los moldes se lubricaron con grasa y se vaciaron cada uno en tres capas de aproximadamente un tercio de la altura del molde. Cada capa fue compactada dando 25 golpes en toda su sección transversal, con una barra normalizada (figura 11), disminuyendo así la segregación del material. Al compactar la capa inmediata superior, la barra se penetró aproximadamente de 20 a 30 mm en la capa inmediatamente inferior como lo especifica la Norma, además se golpeó suavemente las paredes del molde.

Culminado el vaciado se esperó unos minutos y se procedió a enrasar con la barra compactadora, de manera que la superficie quedara perfectamente lisa y al ras con el borde del molde (figura 12).



Figura 11. Primera capa compactación con barra normalizada.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 07-Abr-2014



Figura 12. Enrazado de probetas.
Fuente: Elaboración propia.
Fecha: 07-Abr-2014

Transcurridas 24 horas se procedió a desencofrar los cilindros y a colocarlos en la piscina de curado bajo agua saturada con cal hasta su correspondiente día de ensayos (figuras 13 y 14)



Figura 13. Probetas desencofradas.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 08-Abr-2014



Figura 14. Probetas sumergidas en agua con adición de cal.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 08-Abr-2014

III.6. Caracterización del concreto fresco

III.6.1. Medición de asentamiento

El método utilizado para la medición del asentamiento fue el establecido en la Norma COVENIN 339-2003 *“Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams”*.

Se humedeció el interior del molde que fue colocado sobre una superficie horizontal rígida, plana y no absorbente. El molde se sujetó firmemente por las aletas con los pies y se llenó con la muestra de concreto en tres capas, cada una a un tercio del volumen del molde. Cada capa se compactó con 25 golpes, distribuidos uniformemente en toda su sección transversal, la capa siguiente se compactó penetrando ligeramente la barra en la capa inmediata inferior. Luego, la última capa se llenó por exceso antes de compactar, finalmente se compactó y posteriormente se enrazo. Inmediatamente se retiró el molde alzándolo cuidadosamente en dirección vertical, evitando movimientos laterales o de torsión y se realizó aproximadamente en un tiempo de 5 a 10 segundos recomendados por Norma.

Finalmente se midió el asentamiento con la diferencia entre la altura del molde y la altura promedio de la base superior del cono deformado (figuras 15 y 16).



Figura 15. Medición del asentamiento.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 07-Abr-2014

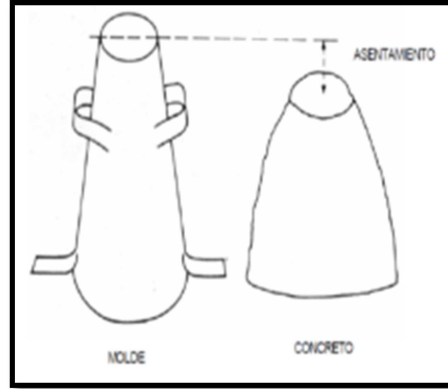


Figura 16. Medición del asentamiento.
Fuente: Norma COVENIN 339:2003

III.7. Caracterización del concreto endurecido

III.7.1. Peso unitario

Antes de ensayar los cilindros a compresión se midió con un Vernier dos veces la altura y el diámetro de cada uno (figuras 17 y 18), lo que permitió calcular el volumen de los mismos. Luego, se determinó su masa en una balanza de apreciación de 1 gramo (figura 19).

El cálculo del peso unitario se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{P_e}{V} \quad (\text{Ecuación 31})$$

Dónde:

ρ : Es la densidad en estado endurecido (kg)

P_e : Peso de la probeta en estado endurecido (kg)

V : Volumen de la probeta (m^3).

El peso unitario por muestra, corresponde al promedio del peso unitario de las tres probetas que la conforman.



Figura 17. Medición de diámetro de la probeta con Vernier.
Fuente: Elaboración propia.
Fecha: 14-abr-2014



Figura 18. Medición de altura de la probeta con Vernier.
Fuente: Elaboración propia.
Fecha: 14-abr-2014



Figura 19. Peso de la probeta en estado endurecido.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 14-abr-2014

III.7.2. Ensayo a compresión

El ensayo a compresión de las probetas se realizó según la Norma COVENIN 338:2002 “*Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto*”

El procedimiento para este ensayo consistió en colocar el cilindro en la máquina de ensayos, ubicándolo entre dos discos confinados con almohadillas de

neopreno arriba y abajo, nivelando la parte superior de la probeta y así garantizar una distribución uniforme de la carga a aplicar en toda su sección transversal (figura 20). Finalmente se procedió a comprimir cada uno de los cilindros hasta lograr la falla.



Figura 20. Nivelación de cilindro.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 07-Abr-2014

La resistencia a compresión de cada cilindro se calculó por la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{P}{A_t} \quad (\text{Ecuación 32})$$

Dónde:

σ : Resistencia a compresión (kgf/cm²).

P: Carga máxima aplicada (kgf).

A: Área de la sección transversal de la probeta (m²).

Cabe destacar que el área obtenida de la sección transversal fue calculada con el promedio del diámetro y la altura tomada de cada una de las muestras.

Los cilindros fueron ensayados a los 7, 14 y 28 días luego del vaciado, así mismo, fueron tomadas 3 probetas por cada diseño de mezcla y 3 para el módulo de elasticidad.

III.7.3. Velocidad de pulso ultrasónico

Se siguió el procedimiento establecido en la Norma COVENIN 1681:1980 “*Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto*”.

En primer lugar se calibró el equipo según las especificaciones del fabricante, seguidamente se verificó que en las zonas donde se colocaron los transductores estuviesen limpias, lisas, secas y libres de revestimiento. Luego, se procedió a lubricar los transductores con suficiente vaselina para luego colocarlos firmemente sobre la superficie de concreto, garantizando un buen acoplamiento entre el transductor y el concreto, inmediatamente se tomó el tiempo de propagación de la onda.

La velocidad de propagación de la onda fue calculada a través de la siguiente ecuación:

$$V = \frac{L}{t} \quad (\text{Ecuación 33})$$

Dónde:

V: Velocidad de propagación de la onda. (m/s).

L: Base de medición (m).

t: Tiempo (s).

Es importante recalcar que las lecturas del generador de pulsos vienen dadas en microsegundos (cs), por lo tanto se realizaron los cambios de unidades pertinentes para la obtención de los resultados en (m/s).

III.7.4. Índice esclerométrico

El ensayo esclerométrico se realizó según la Norma COVENIN 1609-1980 “Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerométrica en superficies de concreto endurecidas”

Para este ensayo se limpiaron las superficies de los cilindros, evitando impurezas y partículas sueltas, seguidamente se procedió a marcar 10 puntos en ambas caras de cada cilindro para efectuar las lecturas alejando las marcas entre si aproximadamente 3 cm según la Norma (figura 21), evitando los sitios perceptiblemente defectuosos como poros y oquedades, posteriormente se situó cada cilindro en la prensa universal, imprimiendo una carga suficiente para impedir su movilidad.

Finalmente para tratar de lograr uniformidad en este ensayo se colocó el esclerómetro en cada punto ya marcado, manteniendo la inclinación del mismo.

Una vez colocado se presionó contra la superficie del cilindro lentamente y en forma continua hasta la liberación del resorte y producción del impacto (figura 22).



Figura 21. Marcas para el ensayo esclerométrico.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 05-May-2014



Figura 22. Ensayo esclerométrico.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 05-May-2014

III.7.5. Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad se realizó siguiendo el procedimiento que indica la Norma COVENIN 1468-1979 “*Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto*”

Para este ensayo se tomaron los cilindros a los 28 días de curado, luego se determinó el diámetro promedio para cada uno, siguiendo las especificaciones de la Norma.

Posteriormente se calculó el 40% de la carga promedio de rotura. Una vez fijado el cilindro en la máquina de ensayo, se procedió a colocar el extensómetro, observando la lectura de aplicación de los ciclos de cargas cada 2000 kgf para este proyecto, manteniendo la carga por aproximadamente un minuto luego se redujo gradualmente.

Seguidamente se tomaron las lecturas del extensómetro (figura 23 y 24), aplicando la carga una tercera vez a la misma velocidad, de forma continua y sin interrupción y se tomó la lectura del extensómetro para cada ciclo de carga.

Finalmente se elaboró un gráfico esfuerzo- deformación unitaria, con los resultados obtenidos en el último ciclo de ensayo. El módulo de elasticidad secante se calculó mediante la siguiente expresión:

$$E_C = \frac{S_C - S_D}{\epsilon_C - 5 \times 10^{-5}} \quad (\text{Ecuación 34})$$

Dónde:

E_C : Módulo de elasticidad secante de cada una de las curvas, expresada en (kgf/cm²).

S_C : Esfuerzo correspondiente a la carga C (kgf/cm²).

S_D : Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal de 5×10^{-5} mm/mm (kgf/cm²).

ϵ_D : Deformación unitaria longitudinal por el esfuerzo S_C .



Figura 25. Extensómetro.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 12-May-2014



Figura 26. Extensómetro en cilindro.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 12-May-2014

III.8. Comparación con respecto a mezclas patrones

Se realizaron gráficos comparativos de las propiedades obtenidas a través de ensayos para el estudio de este Trabajo Especial de Grado, se evaluaron ensayos con el concreto en estado fresco como endurecido. Además se realizaron ensayos a los agregados utilizados, comparación de asentamientos, resistencia a compresión, dureza superficial y ensayo del pulso ultrasónico.

CAPITULO IV

RESULTADOS

Los resultados se obtuvieron siguiendo el procedimiento descrito en el Capítulo III de este trabajo especial de grado, los mismos se presentaron mediante tablas y gráficos.

IV.1. Caracterización de los agregados

IV.1.1. Granulometría

Tabla 9. Granulometría de la Arena Lavada.

Tipo de Agregado:		Arena Natural (Lavada)			
Procedencia:		Arevenca			
Peso Inicial (g):		1221,9			
Abertura (mm)	Cedazo (Pulgadas)	Cantidad Retenida (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
19,1	3/4 "				100,00
12,7	1/2 "	16,6	1,36	1,36	98,64
9,53	3/8 "	64,5	5,28	6,64	93,36
6,35	1/4 "	163,6	13,39	20,03	79,97
4,76	#4	101,8	8,33	28,37	71,63
2,38	#8	204,9	16,77	45,14	54,86
1,19	#16	192,5	15,76	60,90	39,10
0,595	#30	165,8	13,57	74,47	25,53
0,298	#50	142,7	11,68	86,16	13,84
0,149	#100	104,3	8,54	94,70	5,30
0,074	#200	35,0	2,87	97,56	2,44
Fondo	Fondo	29,8	2,44	100,00	0,00
TOTAL		1221,5			

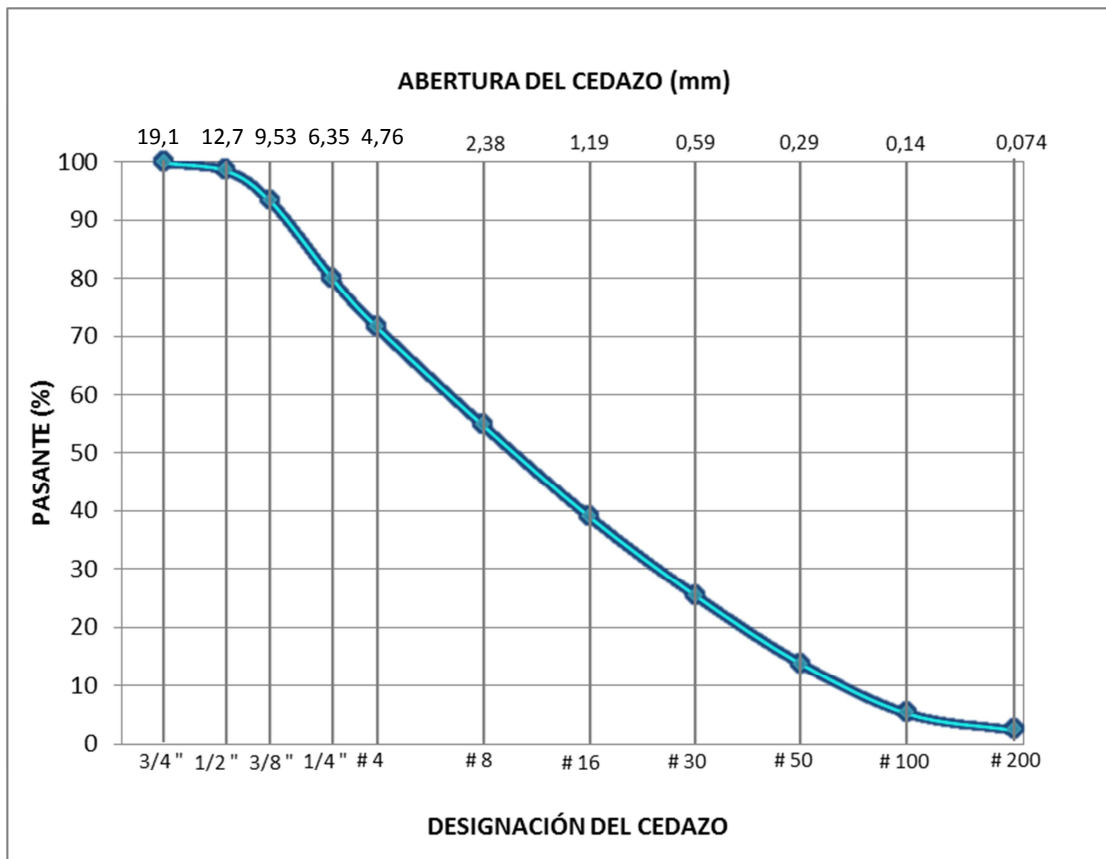


Gráfico 1. Curva granulométrica de Arena Lavada

Tabla 10. Granulometría de Piedra Picada.

Tipo de Agregado:		Piedra 1"			
Procedencia:		Acarigua			
Peso Inicial (g):		20000,0			
Abertura (mm)	Cedazo (Pulgadas)	Cantidad Retenida (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
38,1	1 1/2"				100,00
25,4	1"	3700,0	18,50	18,50	81,50
19,1	3/4 "	7000,0	35,00	53,50	46,50
12,7	1/2 "	7600,0	38,00	91,50	8,50
9,53	3/8 "	1250,0	6,25	97,75	2,25
6,35	1/4 "	400,0	2,00	99,75	0,25
Fondo	Fondo	50,0	0,25	100,00	0,00
TOTAL		20000,0			

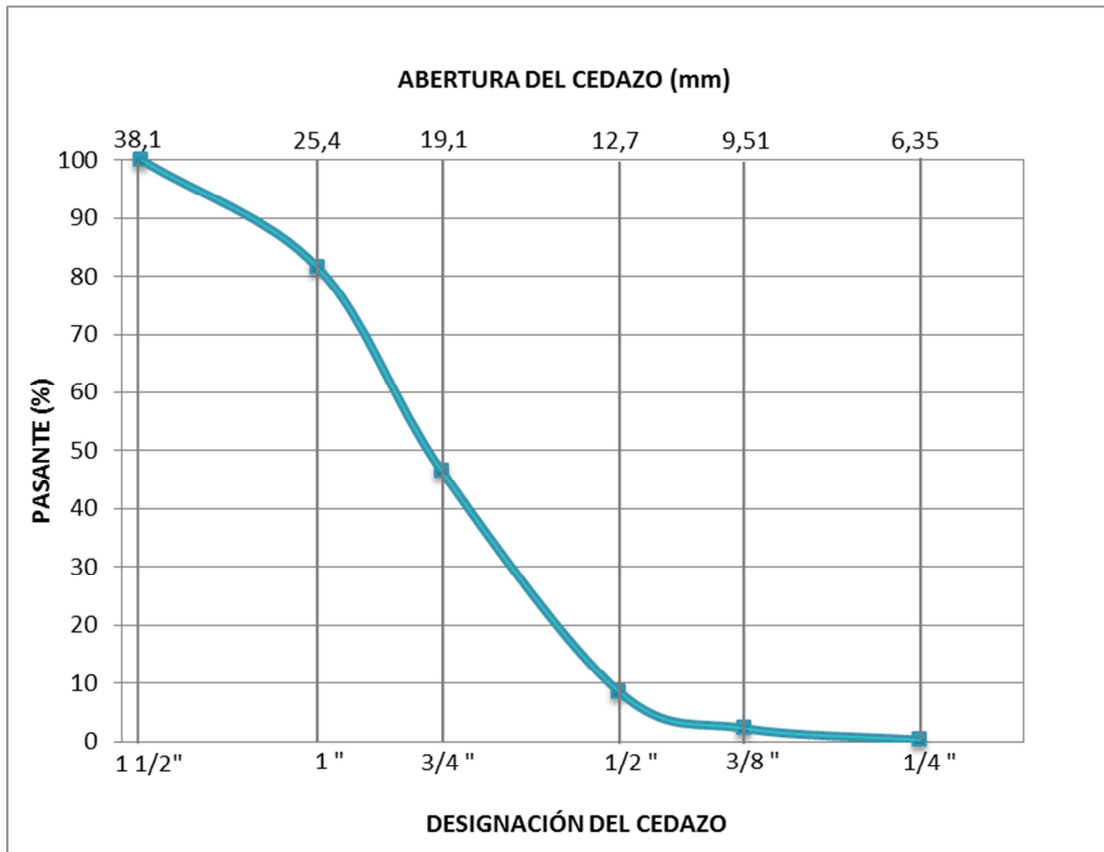


Gráfico 2. Curva granulométrica de Piedra Picada

Tabla 11. Granulometría de Arena Reciclada.

Tipo de Agregado:		Arena Reciclada			
Procedencia:		Trituración de cilindros			
Peso Inicial (g):		500,0			
Abertura (mm)	Cedazo (Pulgadas)	Cantidad Retenida (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
6,35	1/4 "				100,00
4,76	#4	102,00	21,07	21,07	78,93
2,38	#8	188,00	38,84	59,92	40,08
1,19	#16	91,00	18,80	78,72	21,28
0,595	#30	50,00	10,33	89,05	10,95
0,298	#50	26,00	5,37	94,42	5,58
0,149	#100	17,00	3,51	97,93	2,07
0,074	#200	10,00	2,07	100,00	0,00
TOTAL		484,0			

Tabla 12. Porcentaje más fino que el cedazo COVENIN 74 micras (#200).

w₀ (g)	500
w₁ (g)	484
F (%)	3,2

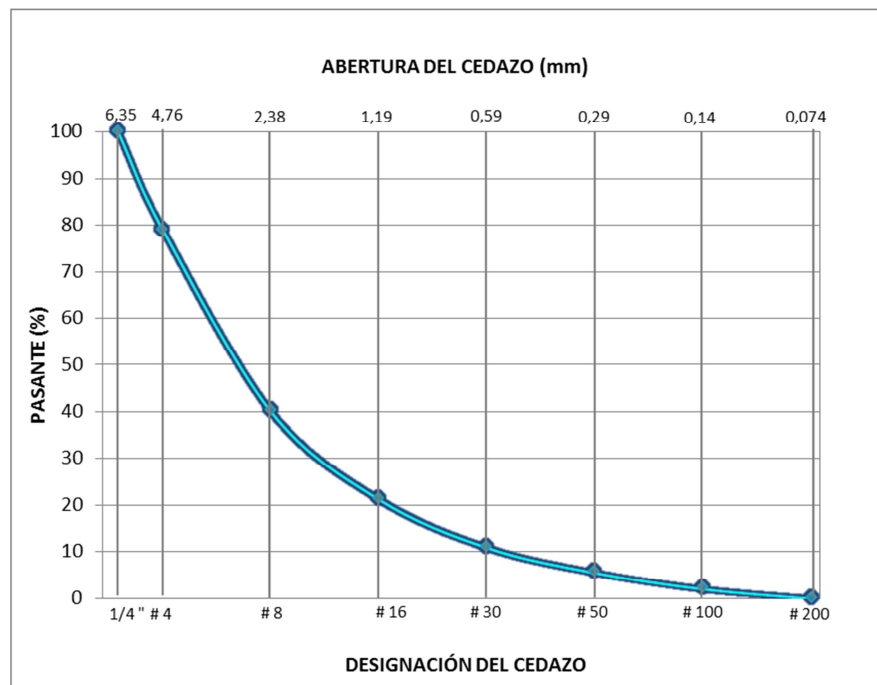


Gráfico 3. Curva granulométrica de Arena Reciclada

Tabla 13. Granulometría de Piedra Reciclada.

Tipo de Agregado:		Piedra Reciclada			
Procedencia:		Trituración de cilindros			
Peso Inicial (g):		20000,0			
Abertura (mm)	Cedazo (Pulgadas)	Cantidad Retenida (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
38,1	1 1/2"				100,00
25,4	1"	1600,0	8,00	8,00	92,00
19,1	3/4 "	13750,0	68,75	76,75	23,25
12,7	1/2 "	4450,0	22,25	99,00	1,00
9,53	3/8 "	100,0	0,50	99,50	0,50
6,35	1/4 "	30,0	0,15	99,65	0,35
Fondo	Fondo	70,0	0,35	100,00	0,00
TOTAL		20000,0			

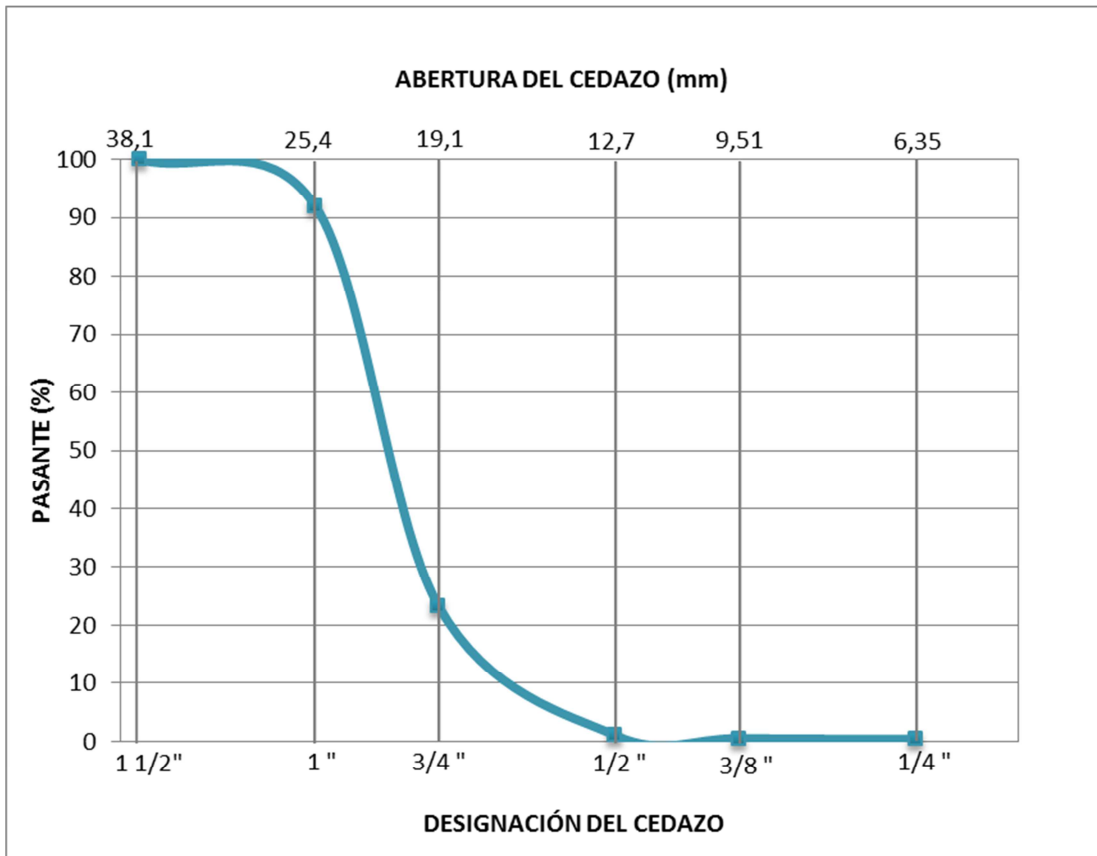


Gráfico 4. Curva granulométrica de Piedra Reciclada

IV.1.2. Desgaste Los Ángeles

Tabla 14. Porcentaje desgaste Los Ángeles de la Piedra Picada.

Pi (g)	5000
Pf (g)	3550
Desgaste (%)	29

Tabla 15. Porcentaje desgaste Los Ángeles de la Piedra Reciclada.

Pi (g)	5000
Pf (g)	3500
Desgaste (%)	30

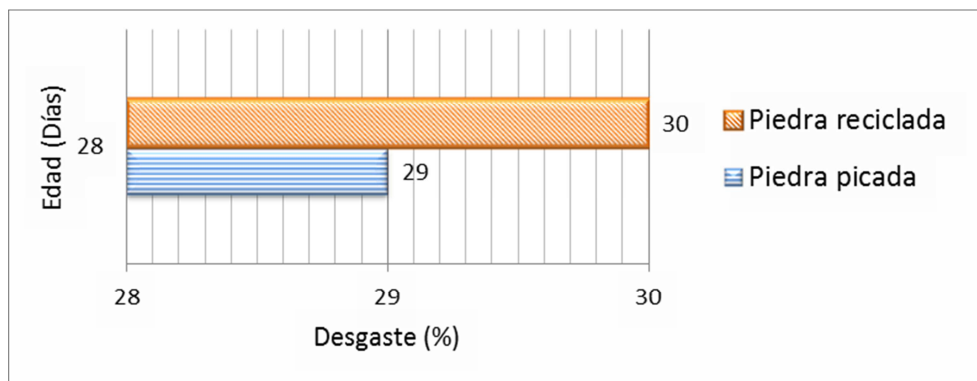


Gráfico 5. Comparación del porcentaje de desgaste de los agregados.

IV.1.3. Absorción y peso específico

Tabla 16. Densidad y Absorción de la Arena Lavada.

Masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca M (g)	500,1
Masa en el aire de la muestra secada al horno M1 (g)	487,8
Masa del picnómetro con agua Ma (g)	1275,3
Masa del picnómetro con la muestra y el agua Mp (g)	1581,4
Densidad aparente ρ_a (g/ml)	2,514
Absorción A (%)	2,46

Tabla 17. Densidad y Absorción de la Arena Reciclada.

Masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca M (g)	500
Masa en el aire de la muestra secada al horno M1 (g)	434
Masa del picnómetro con agua Ma (g)	1277
Masa del picnómetro con la muestra y el agua Mp (g)	1543
Densidad aparente ρ_a (g/ml)	1,855
Absorción A (%)	13,20

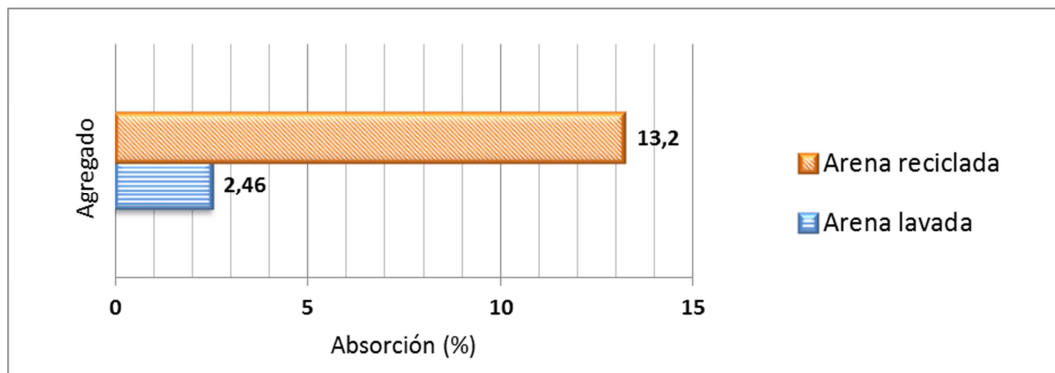


Gráfico 6. Comparación del porcentaje de absorción del agregado fino.

Tabla 18. Densidad y Absorción de la Piedra Picada.

Masa en el aire de la muestra secada al horno M1 (g)	4944,1
Masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca M2 (g)	5008,7
Masa en el agua de la muestra saturada M3 (g)	3117,1
Densidad aparente con muestra saturada y superficie seca ρ_a (g/ml)	2,648
Absorción A (%)	1,31

Tabla 19. Densidad y Absorción de la Piedra Reciclada.

Masa en el aire de la muestra secada al horno M1 (g)	4730,1
Masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca M2 (g)	5006,8
Masa en el agua de la muestra saturada M3 (g)	2925,2
Densidad aparente con muestra saturada y superficie seca ρ_a (g/ml)	2,405
Absorción A (%)	5,85

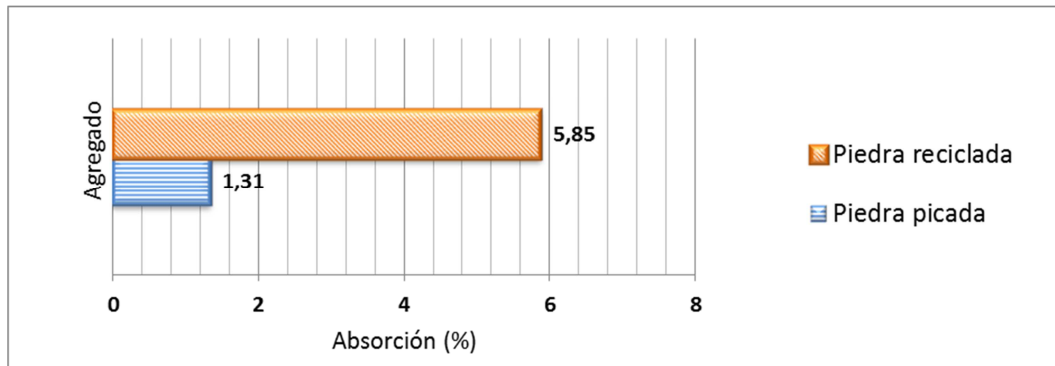


Gráfico 7. Comparación del porcentaje de absorción del agregado grueso.

IV.1.4. Contenido de Humedad

Tabla 20. Humedad de la Arena Lavada.

Muestra	Masa húmeda (g)	Masa seca (g)	ω (%)
1	500	470	6,38
2	500	473	5,71
3	500	475	5,26
4	500	471	6,16
5	500	472	5,93

Tabla 21. Humedad de la Arena Reciclada.

Muestra	Masa húmeda (g)	Masa seca (g)	ω (%)
1	500	490	2,04

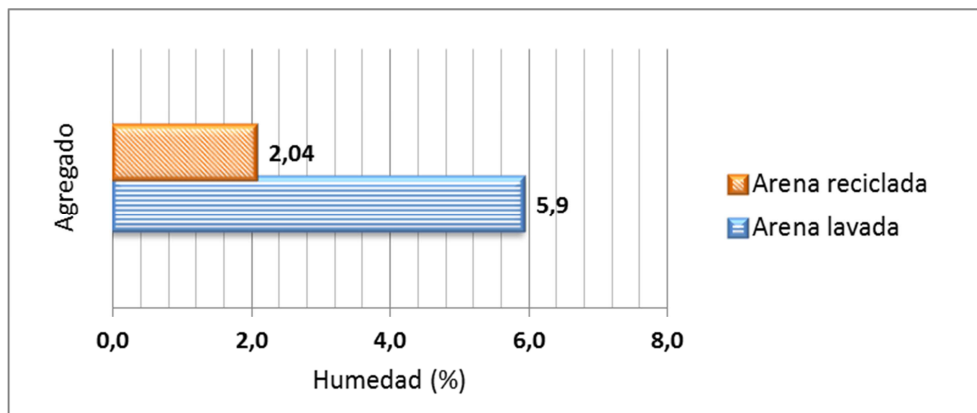


Gráfico 8. Comparación del porcentaje de humedad del agregado fino.

Tabla 22. Humedad de la Piedra Picada.

Muestra	Masa húmeda (g)	Masa seca (g)	ω (%)
1	3000	2995	0,17
2	3001	2994	0,23
3	3000	2997	0,10
4	3000	2995	0,17
5	3000	2997	0,10

Tabla 23. Humedad de la Piedra Reciclada.

Muestra	Masa húmeda (g)	Masa seca (g)	ω (%)
1	3002	2981	0,70

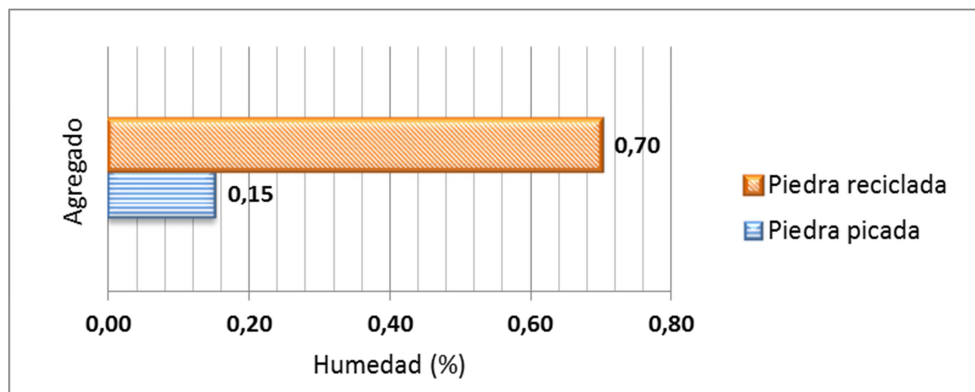


Gráfico 9. Comparación del porcentaje de humedad del agregado grueso.

IV.2. Diseño de mezcla

IV.2.1. Relación β

Tabla 24. Relación beta.

Relación beta		Promedio	Diseño
72,2	51,6	61,9	56,8

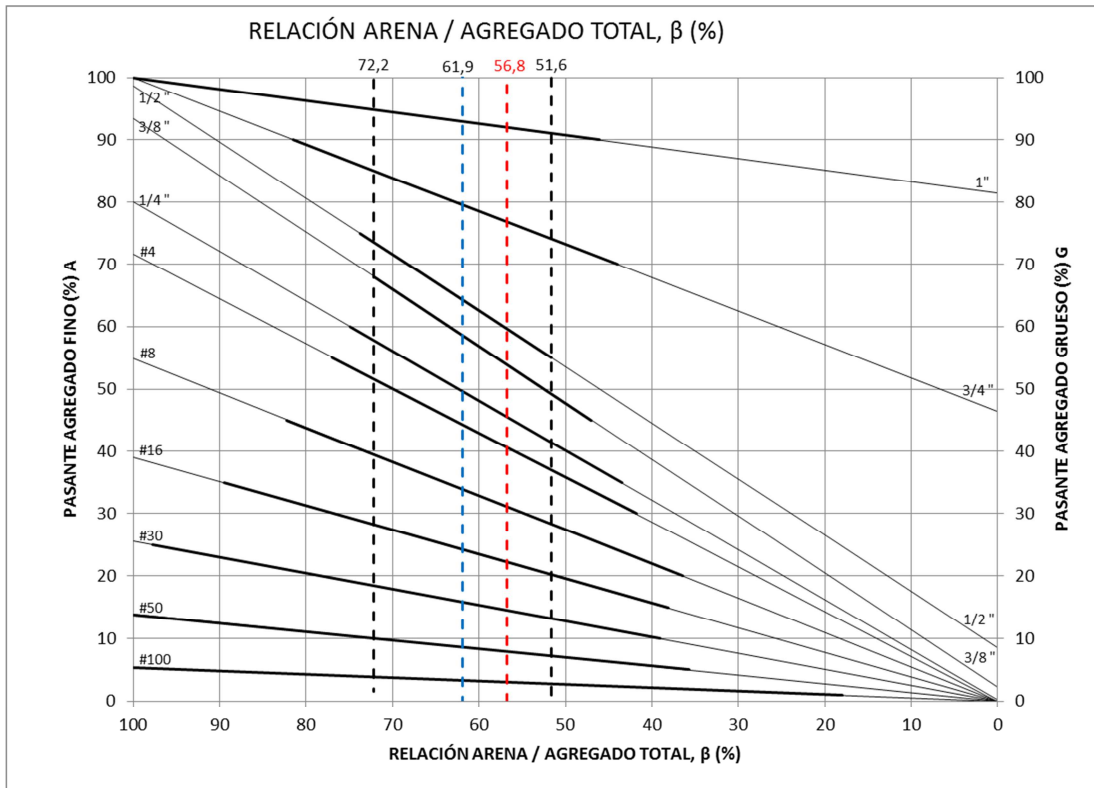


Gráfico 10. Relación Arena / Agregado Total, β (%)

IV.2.2. Componentes del diseño de mezcla

Tabla 25. Componentes del diseño de mezcla.

f'c 28 días	kgf/cm ²	250
f'cr	kgf/cm ²	310
α	-	0,494
αc	-	0,494
C	kgf/m ³	424,1
Cc	kgf/m ³	424,1
Vc		127,2
Ad	l/m ³	209,4
Va	l/m ³	16,7
V A+G	l/m ³	646,7
Peso A = Asss	kgf/m ³	945,1
Peso G = Gsss	kgf/m ³	718,8

IV.2.3. Dosificación de los materiales para la mezcla patrón

Tabla 26. Dosificación de los materiales para la mezcla patrón.

DOSIFICACIÓN PARA:		
Volumen de cilindros	0,0053	m ³
N° Cilindros	10	Cilindros
Desperdicios	15%	%
Volumen necesario de Concreto	0,0610	m ³
COMPONENTE	PESO (kgf)	
Cemento	25,8	
Agregado Fino	59,4	
Agregado Grueso	43,3	
Agua de mezclado	11,4	

IV.2.4. Dosificación de los materiales para las mezclas con sustitución parcial baja de los agregados en 20%, 30% y 40%

Tabla 27. Dosificación de los materiales para la mezcla con sustitución parcial baja en 20 % de los agregados.

DOSIFICACIÓN PARA:		
Volumen de cilindros	0,0053	m ³
N° Cilindros	10	Cilindros
Desperdicios	15%	%
Volumen necesario de Concreto	0,0610	m ³
COMPONENTE	PESO (kgf)	
Cemento	25,9	
Agregado Fino	47,8	
Agregado Grueso	34,6	
Agregado Fino Reciclado	7,5	
Agregado Grueso Reciclado	7,7	
Agua de mezclado	12,8	

Tabla 28. Dosificación de los materiales para la mezcla con sustitución parcial baja en 30 % de los agregados.

DOSIFICACIÓN PARA:		
Volumen de cilindros	0,0053	m ³
N° Cilindros	10	Cilindros
Desperdicios	15%	%
Volumen necesario de Concreto	0,0610	m ³
COMPONENTE	PESO (kg)	
Cemento	25,8	
Agregado Fino	41,7	
Agregado Grueso	30,3	
Agregado Fino Reciclado	11,3	
Agregado Grueso Reciclado	11,5	
Agua de mezclado	13,8	

Tabla 29. Dosificación de los materiales para la mezcla con sustitución parcial baja en 40 % de los agregados.

DOSIFICACIÓN PARA:		
Volumen de cilindros	0,0053	m ³
N° Cilindros	10	Cilindros
Desperdicios	15%	%
Volumen necesario de Concreto	0,0583	m ³
COMPONENTE	PESO (kgf)	
Cemento	24,7	
Agregado Fino	33,9	
Agregado Grueso	24,8	
Agregado Fino Reciclado	14,4	
Agregado Grueso Reciclado	14,7	
Agua de mezclado	14,2	

IV.3. Caracterización del concreto fresco

IV.3.1. Medición de asentamiento

Tabla 30. Asentamiento

	Diseño de mezcla			
	Patrón	Sustitución 20%	Sustitución 30%	Sustitución 40%
Asentamiento (cm)	9,5	10,0	10,0	10,5

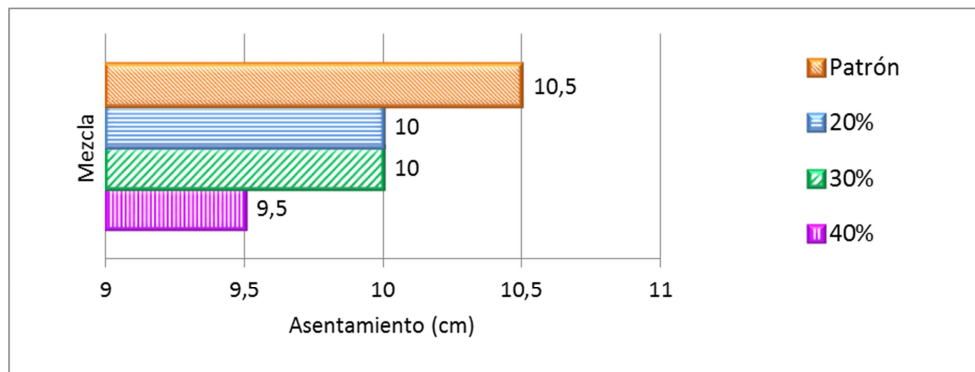


Gráfico 11. Comparación de los asentamientos obtenidos.

IV.4. Caracterización del concreto endurecido

IV.4.1. Peso Unitario

Tabla 31. Peso unitario promedio a los 7 días.

Sustitución	Cilindro N°	Peso (kgf)	Φ1 (cm)	Φ2 (cm)	Φ Promedio (cm)	h (cm)	Vol (cm ³)	Peso unitario (kgf/m ³)	Peso unitario promedio (kgf/m ³)
Patrón	1	12,48	15,00	15,01	15,01	30,11	0,0053	2355	2339
	2	12,40	15,04	14,94	14,99	30,02	0,0053	2340	
	3	12,31	15,00	15,00	15,00	30,02	0,0053	2323	
20%	1	12,27	15,00	15,02	15,01	30,02	0,0053	2315	2313
	2	12,40	15,01	15,01	15,01	30,05	0,0053	2340	
	3	12,10	15,01	15,01	15,01	30,02	0,0053	2283	
30%	1	12,17	15,01	15,01	15,01	30,02	0,0053	2296	2295
	2	12,24	15,01	15,01	15,01	30,02	0,0053	2309	
	3	12,09	15,04	15,00	15,02	30,04	0,0053	2281	
40%	1	11,83	15,01	15,00	15,01	30,00	0,0053	2232	2228
	2	11,85	15,04	15,00	15,02	30,24	0,0054	2194	
	3	11,96	15,02	15,00	15,01	30,01	0,0053	2257	

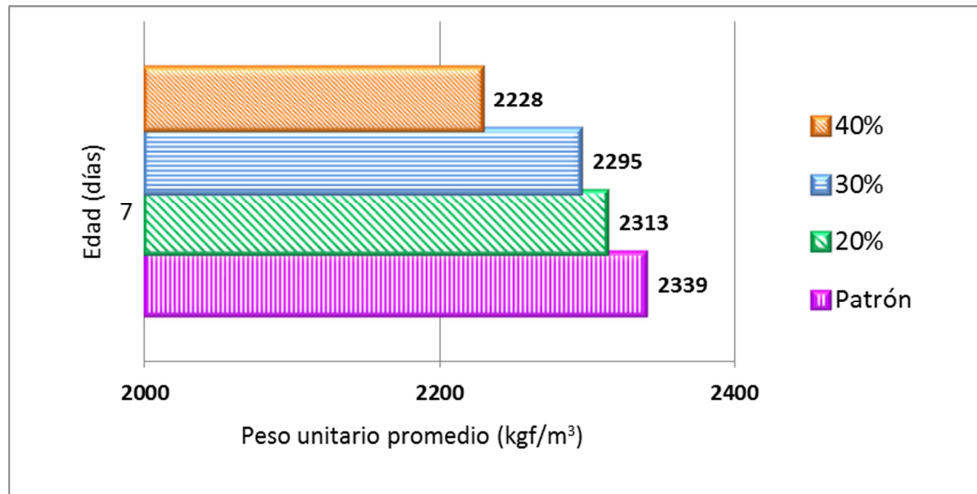


Gráfico 12. Peso unitario promedio a los 7 días.

Tabla 32. Peso unitario promedio a los 14 días.

Sustitución	Cilindro N°	Peso (kgf)	Φ1 (cm)	Φ2 (cm)	Φ Promedio (cm)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Peso unitario (kgf/m ³)	Peso unitario promedio (kgf/m ³)
Patrón	1	12,47	15,10	15,10	15,10	30,01	0,0054	2309	2287
	2	12,29	15,10	15,05	15,08	30,20	0,0054	2276	
	3	12,29	15,09	15,03	15,06	30,15	0,0054	2276	
20%	1	12,35	14,95	15,00	14,98	30,20	0,0053	2330	2290
	2	12,36	15,11	15,12	15,12	30,11	0,0054	2289	
	3	12,38	15,10	15,12	15,11	30,40	0,0055	2251	
30%	1	12,31	15,10	15,13	15,12	30,30	0,0054	2280	2275
	2	12,11	14,99	15,00	15,00	30,40	0,0054	2243	
	3	12,20	15,00	15,03	15,02	30,10	0,0053	2302	
40%	1	12,04	14,95	15,12	15,04	30,12	0,0054	2230	2219
	2	12,01	15,12	15,11	15,12	30,19	0,0054	2224	
	3	11,90	15,05	15,10	15,08	30,15	0,0054	2204	

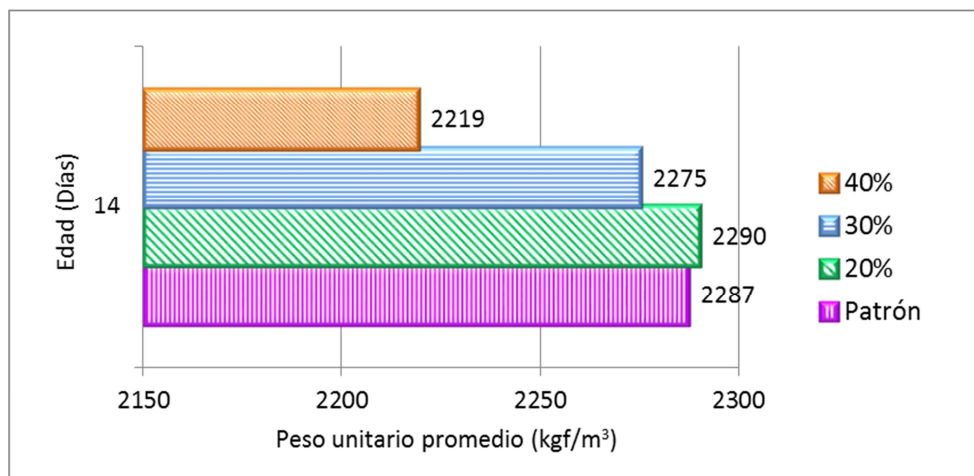


Gráfico 13. Peso unitario promedio a los 14 días.

Tabla 33. Peso unitario promedio a los 28 días.

Sustitución	Cilindro N°	Peso (kgf)	Φ1 (cm)	Φ2 (cm)	Φ Promedio (cm)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Peso unitario (kgf/m ³)	Peso unitario promedio (kgf/m ³)
Patrón	1	12,43	15,00	15,00	15,00	30,00	0,0053	2345	2325
	2	12,25	15,00	14,95	14,98	30,05	0,0053	2311	
	3	12,29	14,89	14,99	14,94	30,00	0,0053	2319	
20%	1	12,20	15,05	15,00	15,03	30,05	0,0053	2302	2294
	2	12,31	15,05	15,00	15,03	30,05	0,0053	2323	
	3	12,41	15,10	15,15	15,13	30,35	0,0055	2256	
30%	1	12,23	15,00	15,00	15,00	30,30	0,0054	2265	2275
	2	12,18	15,00	15,00	15,00	30,18	0,0053	2298	
	3	12,21	15,00	15,00	15,00	30,30	0,0054	2261	
40%	1	11,90	15,05	15,00	15,03	29,80	0,0053	2245	2246
	2	11,94	14,95	15,00	14,98	30,00	0,0053	2253	
	3	12,10	15,00	15,09	15,05	30,20	0,0054	2241	

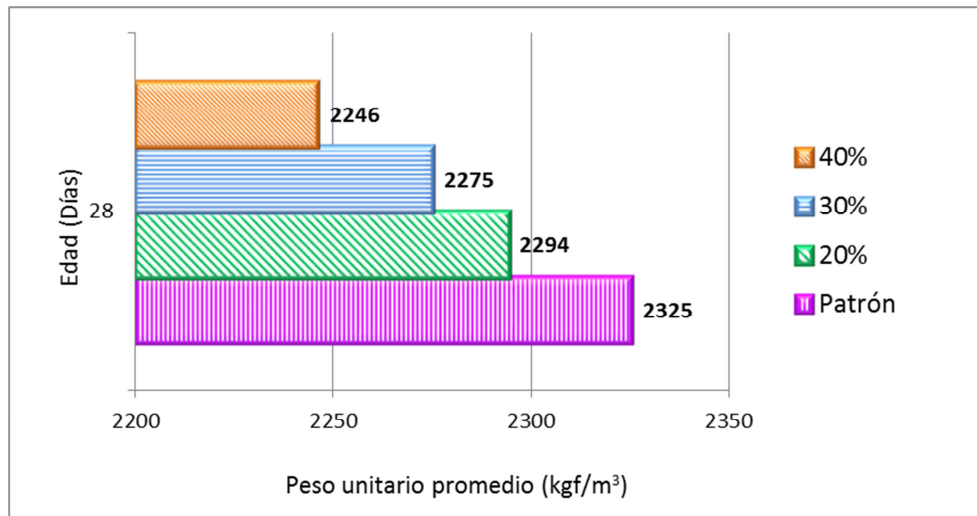


Gráfico 14. Peso unitario promedio a los 28 días.

IV.4.2. Ensayo a compresión

Tabla 34. Ensayo a compresión promedio a los 7 días.

Sustitución	Cilindro N°	Peso (kgf)	Φ Promedio (cm)	h (cm)	Area (cm ²)	Carga máxima (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
Patrón	1	12,48	15,01	30,11	176,95	39000	220,40	221
	2	12,40	14,99	30,02	176,48	38067	215,70	
	3	12,31	15,00	30,02	176,71	40000	226,36	
20%	1	12,27	15,01	30,02	176,95	42400	239,62	238
	2	12,40	15,01	30,05	176,95	40200	227,18	
	3	12,10	15,01	30,02	176,95	43600	246,40	
30%	1	12,17	15,01	30,02	176,95	45000	254,31	250
	2	12,24	15,01	30,02	176,95	46200	261,09	
	3	12,09	15,02	30,04	177,19	41400	233,65	
40%	1	11,83	15,01	30,00	176,95	47200	266,74	243
	2	11,85	15,02	30,24	177,19	41200	232,52	
	3	11,96	15,00	30,01	176,71	40600	229,75	

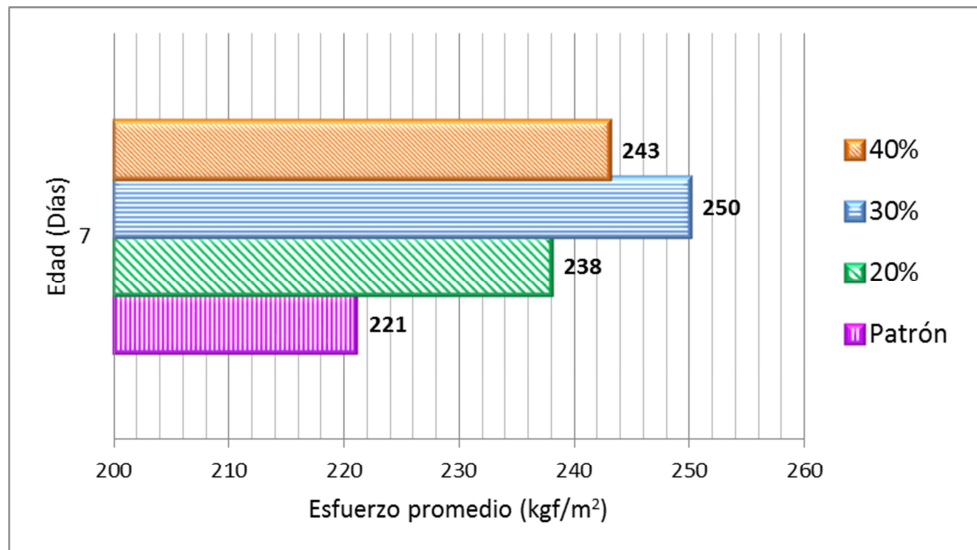


Gráfico 15. Resistencia a compresión promedio a los 7 días.

Tabla 35. Resistencia a compresión promedio a los 14 días.

Sustitución	Cilindro N°	Peso (kgf)	Φ Promedio (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga máxima (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
Patrón	1	12,47	15,10	30,01	179,08	45400	253,52	251
	2	12,29	15,08	30,20	178,60	43800	245,24	
	3	12,29	15,06	30,15	178,13	45200	253,75	
20%	1	12,35	14,98	30,20	176,24	50400	285,97	277
	2	12,36	15,12	30,11	179,55	48600	270,68	
	3	12,38	15,11	30,40	179,32	49200	274,37	
30%	1	12,31	15,12	30,30	179,55	51000	284,04	291
	2	12,11	15,00	30,40	176,71	53800	304,45	
	3	12,20	15,02	30,10	177,19	50600	285,57	
40%	1	12,04	15,04	30,12	177,66	50200	282,56	284
	2	12,01	15,12	30,19	179,55	51500	286,83	
	3	11,90	15,08	30,15	178,60	50300	281,63	

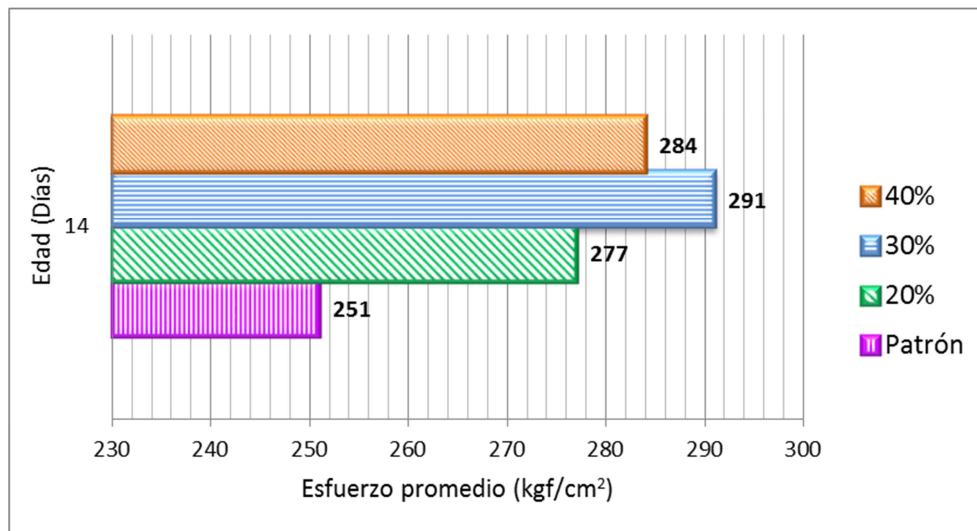


Gráfico 16. Resistencia a compresión promedio a los 14 días.

Tabla 36. Resistencia a compresión promedio a los 28 días.

Sustitución	Cilindro N°	Peso (kgf)	Φ Promedio (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga máxima (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
Patrón	1	12,43	15,00	30,00	176,71	48223	272,89	280
	2	12,25	14,98	30,05	176,24	50618	287,21	
	3	12,29	14,94	30,00	175,30	48814	278,46	
20%	1	12,20	15,03	30,05	177,42	51860	292,30	298
	2	12,31	15,03	30,05	177,42	52700	297,04	
	3	12,41	15,13	30,35	179,79	54900	305,36	
30%	1	12,23	15,08	30,30	176,71	55741	315,44	306
	2	12,18	15,00	30,18	176,71	56859	321,76	
	3	12,21	15,00	30,30	176,71	49381	279,45	
40%	1	11,90	15,03	29,80	177,42	47547	267,99	296
	2	11,94	14,98	30,00	176,24	53312	302,50	
	3	12,10	15,05	30,20	177,89	56249	316,20	

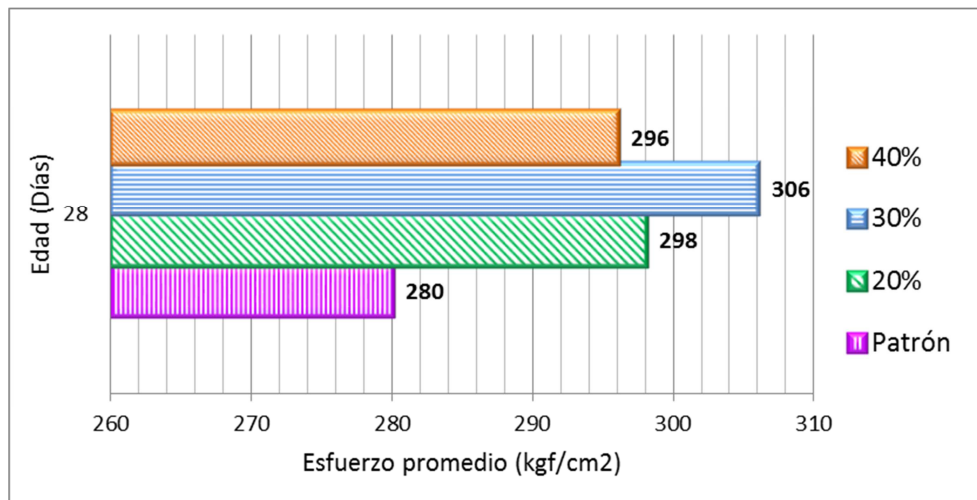


Gráfico 17. Resistencia a compresión promedio a los 28 días.

IV.4.3. Velocidad de pulso ultrasónico

Tabla 37. Velocidad de pulso ultrasónico a la edad de 28 días.

Diseño	Cilindro N°	t ultrasonido (μs)	t ultrasonido (s)	h (cm)	h (m)	V (m/s)	V promedio (m/s)
Patrón	1	70,4	0,0000704	30,00	0,3000	4261	4166
	2	74,5	0,0000745	30,05	0,3005	4034	
	3	71,4	0,0000714	30,00	0,3000	4202	
20%	1	75,5	0,0000755	30,05	0,3005	3980	4046
	2	73,6	0,0000736	30,05	0,3005	4083	
	3	74,5	0,0000745	30,35	0,3035	4074	
30%	1	75,6	0,0000756	30,30	0,3030	4008	4032
	2	75,4	0,0000754	30,18	0,3018	4003	
	3	74,2	0,0000742	30,30	0,3030	4084	
40%	1	74,4	0,0000744	29,80	0,2980	4005	4005
	2	75,2	0,0000752	30,00	0,3000	3989	
	3	75,1	0,0000751	30,20	0,3020	4021	

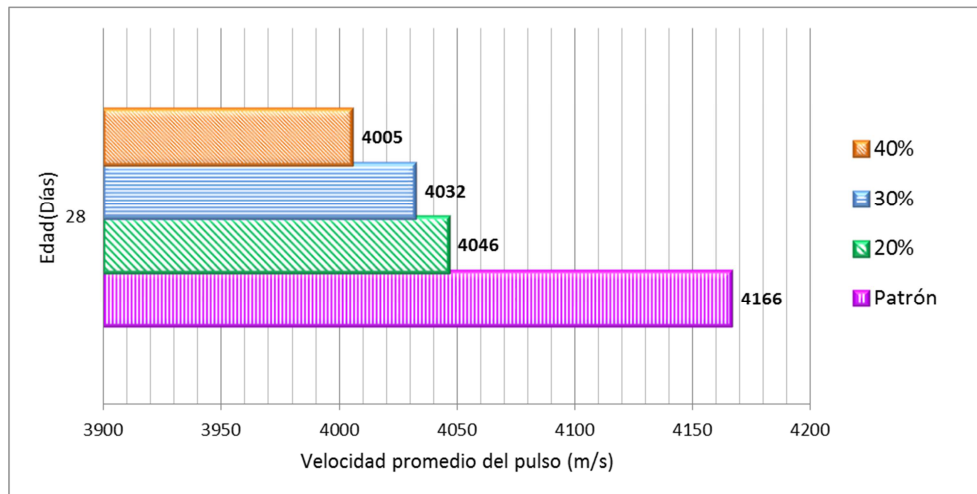


Gráfico 18. Velocidad de pulso ultrasónico promedio de las muestras de concreto a la edad de los 28 días.

IV.4.4. Índice esclerométrico

Tabla 38. Índice esclerométrico promedio para los 28 días

Cilindro N°	Diseños de mezclas			
	Patrón	Sustitución 20%	Sustitución 30%	Sustitución 40%
1	36	36	35	36
2	34	38	36	35
3	35	38	36	35
Promedio de índice esclerométrico	35	37	36	35

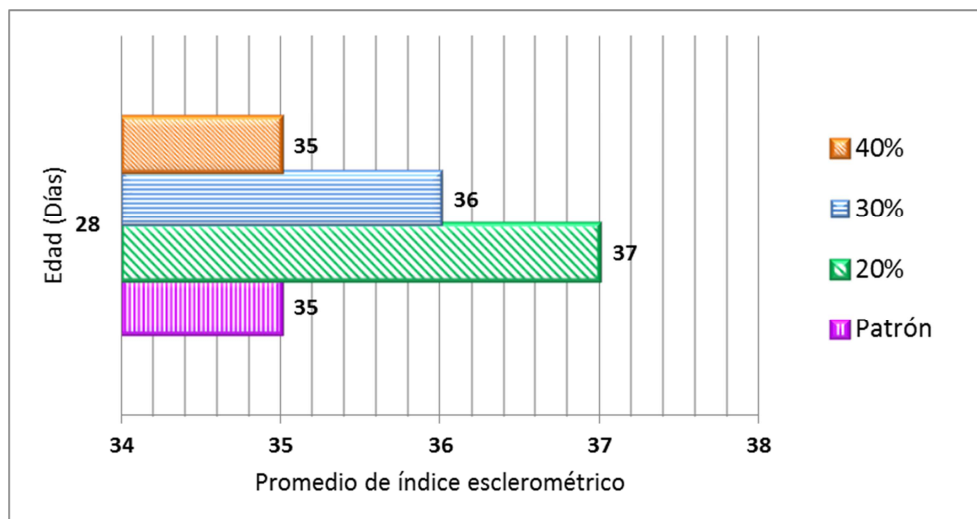


Gráfico 19. Índice esclerométrico promedio para 28 días.

IV.4.5. Módulo de elasticidad

Tabla 39. Carga máxima promedio aplicada en los ensayos de módulo de elasticidad a cilindros ensayados a los 28 días.

Diseño de mezcla	Resistencia a los 28 días (kgf/cm ²)	Carga máxima promedio (kgf)	40% Carga Maxima (kgf)
Patrón	250	49218	19687
Sustitución 20%		57444	22977
Sustitución 30%		53994	21597
Sustitución 40%		52369	20948

Tabla 40. Resultados obtenidos de ensayos de módulo de elasticidad a los 28 días mezcla patrón.

Mezcla patrón	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación unitaria
	11	0,00025
	23	0,00080
	34	0,00120
	45	0,00160
	57	0,00205
	68	0,00260
	80	0,00295
	91	0,00335
	102	0,00380
	114	0,00425
	125	0,00480

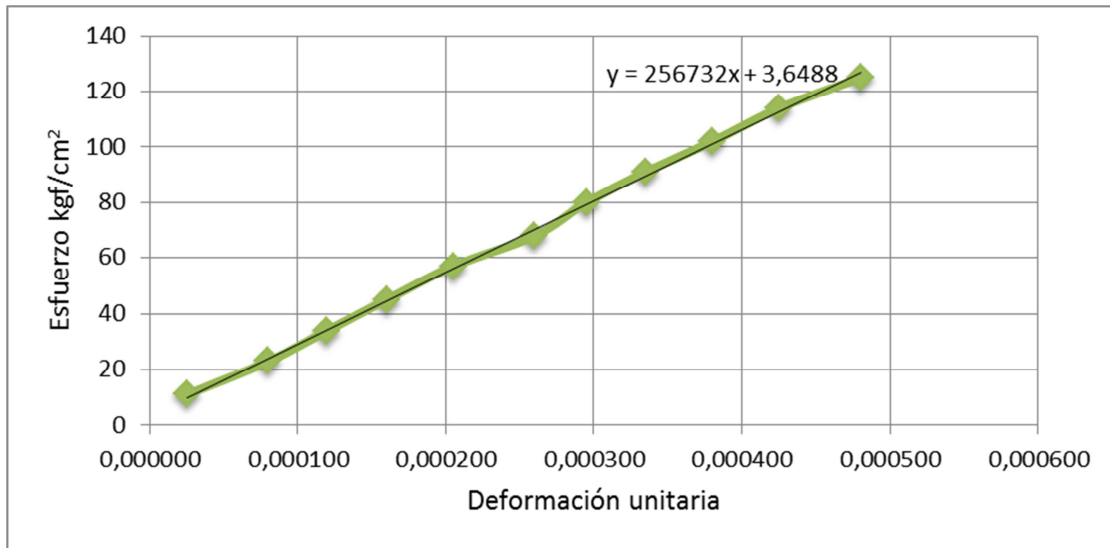


Gráfico 20. Módulo de elasticidad a los 28 días mezcla patrón.

Tabla 41. Resultados obtenidos de ensayos de módulo de elasticidad a los 28 días mezcla 20 % de sustitución.

Sustitución 20 %	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación unitaria
	11	0,000050
	23	0,000250
	34	0,000550
	45	0,000900
	56	0,001400
	68	0,001950
	79	0,002400
	90	0,002950
	101	0,003450
	113	0,004000
	124	0,004500

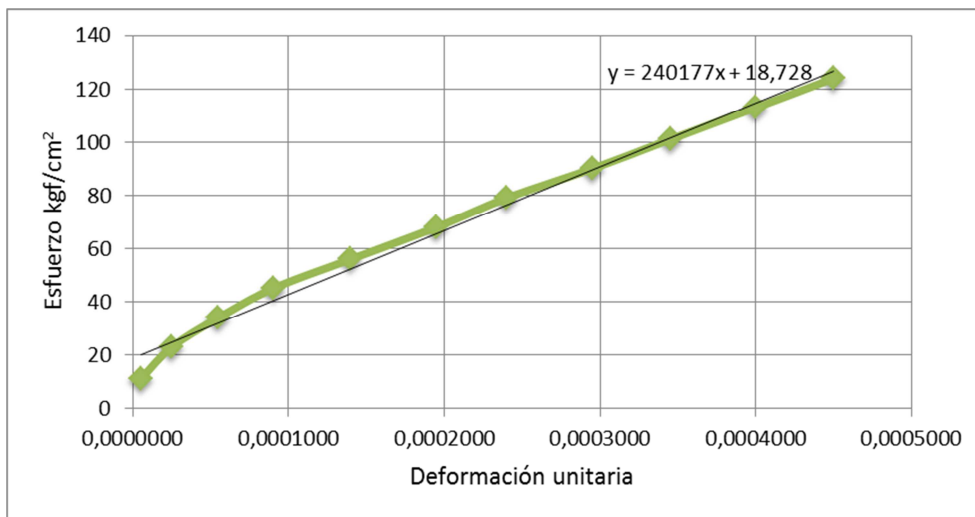


Gráfico 21. Módulo de elasticidad a los 28 días mezcla 20 % de sustitución.

Tabla 42. Resultados obtenidos de ensayos de módulo de elasticidad a los 28 días mezcla 30 % de sustitución.

Sustitución 30 %	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación unitaria
	11	0,000015
	23	0,000080
	34	0,000120
	45	0,000160
	57	0,000205
	68	0,000240
	79	0,000290
	91	0,000325
	102	0,000375
	113	0,000420
	124	0,000465

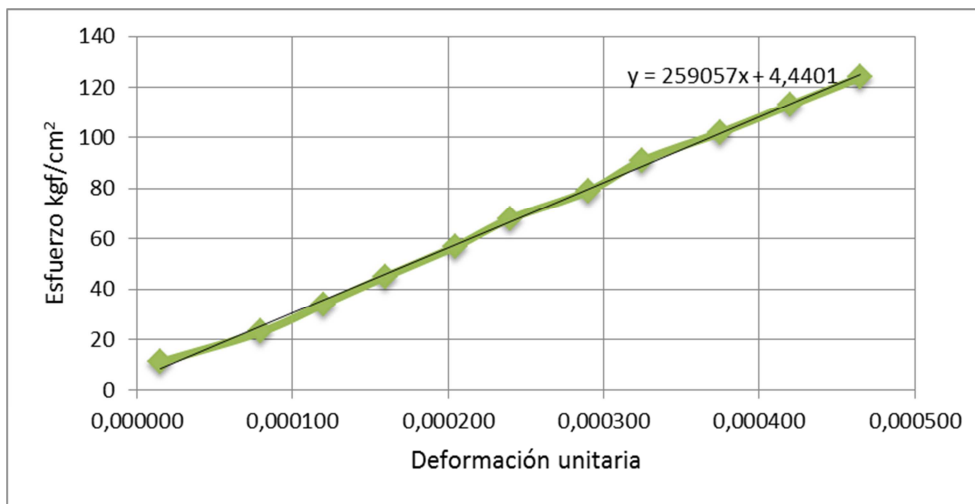


Gráfico 22. Módulo de elasticidad a los 28 días mezcla 30 % de sustitución.

Tabla 43. Resultados obtenidos de ensayos de módulo de elasticidad a los 28 días mezcla 40 % de sustitución.

Sustitución 40 %	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación unitaria
	11	0,000010
	23	0,000040
	34	0,000065
	45	0,000105
	56	0,000140
	68	0,000190
	79	0,000250
	90	0,000300
	102	0,000350
	113	0,000395
	124	0,000440

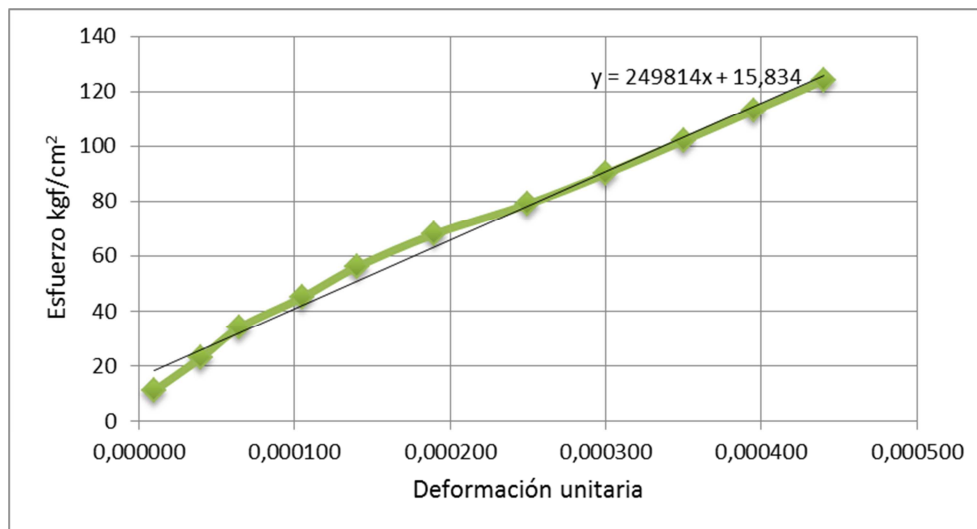


Gráfico 23. Módulo de elasticidad a los 28 días mezcla 40 % de sustitución.

Determinación del módulo de elasticidad empleado en los cálculos de deformaciones y períodos de vibración.

$$E_c = \frac{S_c - S_D}{\epsilon_c - 5 \times 10^{-5}}$$

Módulo de elasticidad secante obtenido teóricamente de mezclas de concreto con diferentes tipos de agregados.

Tabla 44. Módulo de elasticidad teórico.

Diseño de mezcla	E(kgf/cm ²)
Patrón	243877
Sustitucion 20 %	237702
Sustitucion 30 %	236194
Sustitucion 40 %	232053

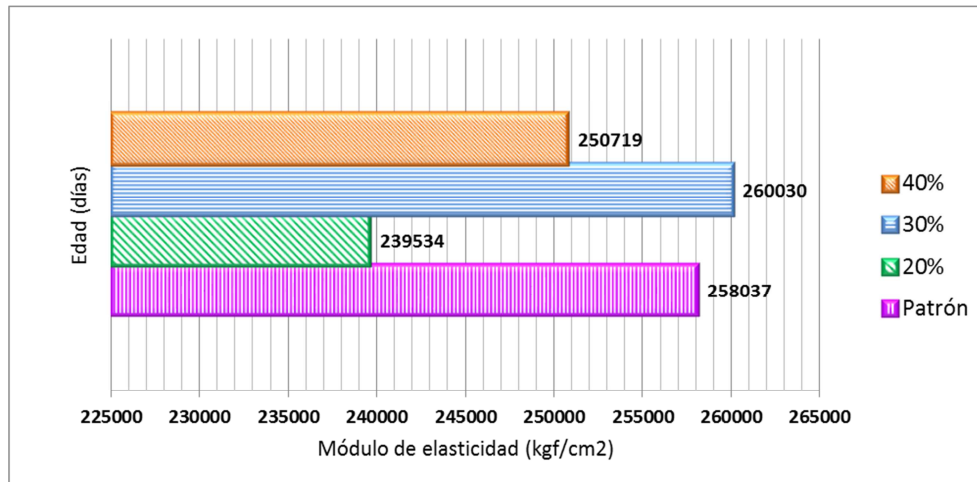


Gráfico 24. Módulo de elasticidad teórico.

CAPITULO V

ANALISIS DE RESULTADOS

V.1. Caracterización de los agregados

V.1.1. Granulometría

V.1.1.1. Tamaño máximo

A través de la tabla 10 y 13, se determinó que el tamaño máximo teórico tanto para la piedra picada como para la piedra reciclada fue de 1 ½”, siendo este el cedazo de menor tamaño que dejó pasar el 100%, cumpliendo conceptualmente con el criterio para establecer el tamaño máximo del agregado grueso, es decir, el cedazo de menor tamaño que dejó pasar el 95% o más de la muestra.

Sin embargo, en el laboratorio no se observó presencia de material retenido en el tamiz de 1 ½”, lo que permitió establecer como tamaño máximo de ambos agregados al tamiz de 1”, a pesar de que no cumplió con el criterio teórico mencionado en el párrafo anterior, ya que en este cedazo la Piedra Picada dejó pasar el 81,50 % y la Piedra Reciclada dejó pasar el 92% de la muestra ensayada.

V.1.1.2. Porcentaje más fino que el cedazo COVENIN 74 micras (#200).

En la tabla 12 se determinó el porcentaje más fino que el cedazo COVENIN 74 micras (#200) del agregado reciclado, el cual fue de 3.2 %, siendo este inferior a 5%, valor máximo establecido en la Norma COVENIN 277-2000 “*Concreto. Agregados. Requisitos*”. Además, según el Manual del Concreto Estructural (Porrero y otros 2009), se trata de una arena gruesa, pues su módulo de finura está por encima de 3%.

V.1.2. Desgaste los Ángeles

Las Normas suelen permitir un límite máximo de desgaste del 50%, sin embargo, de acuerdo con las condiciones del concreto deseado se pueden requerir límites más exigentes como en el caso de pavimentos, túneles de desvíos de represa, tuberías a presión, aliviaderos y otros. Los agregados de alta resistencia al desgaste suelen tener pérdidas de menos del 20% (Porrero y otros, 2009).

En el gráfico 5, se observó que el porcentaje de desgaste para la piedra picada y la piedra reciclada fue del 29% y 30% respectivamente, ambos porcentajes no superaron el 50% de desgaste, además el contraste fue del 1%, esto indica que la resistencia a la abrasión de las muestras ensayadas es adecuada para su utilización en concreto estructural.

V.1.3. Porcentaje de absorción

En los gráficos 6 y 7, se observó que el porcentaje de absorción de los agregados naturales con respecto a los agregados reciclados, tanto finos como gruesos, fue bastante variable. Esto puede deberse a que los agregados reciclados contienen partículas de cemento, haciendo que la absorción del mismo sea mucho más alta en comparación con el agregado natural.

Para los diseños de mezcla con sustitución de agregados, se tomó en cuenta esta propiedad, ya que a mayor absorción mayor es la cantidad de agua de mezclado. Cabe destacar que en estos diseños se mantuvo la relación agua / cemento.

V.2. Caracterización del Concreto Fresco

V.2.1. Asentamiento

El asentamiento establecido para el diseño de mezcla fue de 10 cm, en el gráfico 11 se pudo observar que los valores de asentamiento para la mezcla patrón y la mezcla con sustitución del 40 %, se mantuvo cercano al valor de diseño, mientras que para las mezclas con sustitución del 20 % y 30 % dio el valor de diseño.

Cabe destacar, que estos asentamientos fueron tomados los primeros 3 minutos, sin embargo, durante el proceso de vaciado de cada mezcla con sustitución de agregado reciclado se observó la pérdida de asentamiento y trabajabilidad, esto se puede deber a la absorción del agregado reciclado.

V.3. Caracterización del concreto endurecido

V.3.1. Peso unitario

Los valores del peso unitario del concreto dependen del tipo y proporción del agregado, del contenido de cemento y del volumen de vacíos.

Los valores obtenidos en el peso unitario para las tres edades fueron disminuyendo a medida que se aumentó el porcentaje de sustitución del agregado, presentando mayor peso específico la mezcla patrón y menor la mezcla con sustitución del 40 %.

Sin embargo, en el gráfico 13 se apreció que el peso unitario a los 14 días para la mezcla patrón dio por debajo del valor de la mezcla con sustitución parcial del 20 %, pues a pesar de las acciones que fueron tomadas para tener una mayor precisión en las dimensiones (altura y diámetro) y compactación de los cilindros, existieron variaciones en los resultados que se pueden atribuir a posibles errores humanos en los distintos procesos de la elaboración de la muestras y preparación de las probetas.

V.3.2. Ensayo a Compresión

V.3.2.1. Tipo de falla

En líneas generales se evidenció falla de un 46 % de los cilindros por resistencia de la pasta, un 29 % de los cilindros por falta de adherencia entre la pasta y los agregados y un 25 % mostró falla por fractura de los agregados que en su mayoría correspondieron a esquistos, desconociéndose si la falla fue por el agregado natural o por el agregado reciclado. Además, se visualizó homogeneidad en las mezclas.

En líneas generales se observaron fallas por deficiencia de enrase, ocasionado por la poca trabajabilidad y manejabilidad obtenida en las mezclas con sustitución, debido a la pérdida de asentamiento por los altos porcentajes de absorción de los agregados reciclados.

Ensayo a los 7 días

Mezcla Patrón.

Las fallas que se presentaron en dos cilindros fueron similares, estas adquirieron una forma vertical igual a como se ilustra en la falla N° 3 del anexo IX. El tercer cilindro presentó falla diagonal, la cual se inició aproximadamente a 5 cm de la superficie inferior hasta el extremo superior de la otra cara, equivalente a la falla N° 2 del anexo IX.

Se obtuvo un valor promedio de resistencia a la compresión 221 kgf/cm².

Mezcla con sustitución parcial del 20%.

Dos cilindros fallaron por concavidad de la superficie, debido a un mal enrasado, identificándose como la falla N°4 del anexo IX. El último cilindro presentó falla diagonal, la cual se inició aproximadamente a 3 cm de la superficie inferior hasta el extremo superior de la otra cara, similar a la falla N° 2 del anexo IX.

Se obtuvo un valor promedio de resistencia a la compresión 238 kgf/cm^2 .

Mezcla con sustitución parcial del 30%.

El primer cilindro presento una falla similar a la N° 7 del anexo IX, esto pudo deberse a ligeras desviaciones en la aplicación de la carga. El segundo cilindro falló por concavidad de la superficie, debido a un mal enrasado, identificándose como la falla N°4 del anexo IX. El último cilindro presento una falla en forma de Y ubicada en la parte superior del mismo similar a la N° 6 del anexo IX.

Se obtuvo un valor promedio de resistencia a la compresión de 250 kgf/cm^2 .

Mezcla con sustitución parcial de 40%.

Dos cilindros fallaron por concavidad de la superficie, debido a un mal enrasado, identificándose como la falla N°4 del anexo IX. El último cilindro presentó una falla en forma de Y ubicada en la parte superior del mismo, similar a la N° 6 del anexo IX.

Se obtuvo un valor promedio de resistencia a la compresión de 243 kgf/cm^2 .

Ensayo a los 14 días

Mezcla Patrón.

Dos cilindros presentaron falla diagonal, la cual se inició aproximadamente a 7 cm de la superficie inferior hasta el extremo superior de la otra cara, similar a la falla N° 2 del anexo IX. El último cilindro presento una falla en forma de Y ubicada en la parte superior del mismo, similar a la N° 6 del anexo IX.

Se obtuvo un valor promedio de resistencia a la compresión 251 kgf/cm^2 .

Mezcla con sustitución parcial del 20%.

El primer cilindro falló por concavidad de la superficie, debido a un mal enrasado, identificándose como la falla N°4 del anexo IX. El segundo cilindro presento falla en forma vertical igual a como se ilustra en la falla N° 3 del anexo IX. El último cilindro presentó falla diagonal, la cual se inició aproximadamente a 4 cm de la superficie superior hasta el extremo inferior de la otra cara, similar a la falla N° 2 del anexo IX.

Se obtuvo un valor promedio de resistencia a la compresión 277 kgf/cm^2 .

Mezcla con sustitución parcial del 30%.

El primer cilindro fallo por concavidad de la superficie, debido a un mal enrasado, identificándose como la falla N°4 del anexo IX. El segundo cilindro presento falla en forma vertical igual a como se ilustra en la falla N° 3 del anexo IX. El último cilindro presentó falla diagonal, la cual se inició a 5 cm de la superficie superior hasta el extremo inferior de la otra cara, similar a la falla N° 2 del anexo IX.

Se obtuvo un valor promedio de resistencia a la compresión de 291 kgf/cm^2 .

Mezcla con sustitución parcial de 40%.

Dos cilindros mostraron falla diagonal, la cual se inició aproximadamente a 7 cm de la superficie inferior hasta el extremo superior de la otra cara, similar a la falla N° 2 del anexo IX. El último presento una falla similar a la N° 7 del anexo IX, esto pudo deberse a ligeras desviaciones en la aplicación de la carga.

Ensayo a los 28 días

Mezcla Patrón.

Se presentaron en dos cilindros fallas diagonales y en forma de Y, esta última iniciaba en el centro superior de los cilindros y llegaba al otro extremo inferior pero

hasta 8 cm de la altura medida desde la base. Las mismas corresponden al tipo de falla N° 2 y N° 7.

Se obtuvo un valor promedio de resistencia a la compresión 280 kgf/cm².

Mezcla con sustitución parcial del 20%.

Las fallas que se presentaron fueron diagonales y por deficiencia en el enrase al momento de elaborar el cilindro. Las mismas fueron identificadas como las fallas N° 2 y N° 4 del anexo IX.

Se obtuvo un valor promedio de resistencia a la compresión 298 kgf/cm².

Mezcla con sustitución parcial del 30%.

El primer cilindro presento una falla similar a la N° 7 del anexo IX, esto pudo deberse a ligeras desviaciones en la aplicación de la carga. El segundo cilindro falló por concavidad de la superficie, debido a un mal enrasado, identificándose como la falla N°4 del anexo IX. El último cilindro presento una falla en forma de Y ubicada en la parte superior del mismo similar a la N° 6 del anexo IX.

Se obtuvo un valor promedio de resistencia a la compresión de 306 kgf/cm².

Mezcla con sustitución parcial de 40%.

Dos cilindros fallaron por concavidad de la superficie, debido a un mal enrasado, identificándose como la falla N°4 del anexo IX. El último cilindro presentó una falla en forma de Y ubicada en la parte superior del mismo, similar a la N° 6 del anexo IX.

Se obtuvo un valor promedio de resistencia a la compresión de 296 kgf/cm².

V.3.2.2. Resistencia a compresión

En los gráficos 15, 16 y 17 para las diferentes edades de ensayos, se evidenció que la resistencia óptima fue obtenida en la mezcla con sustitución parcial del 30%, además, su valor se encontró por encima de 250 kgf/cm². Este comportamiento se atribuyó al alto porcentaje de absorción que presentó el agregado reciclado conllevando a un incremento de casi 18 % de la resistencia con respecto al diseño de mezcla patrón.

Se pudo notar que a medida que se aumentó el porcentaje de sustitución del agregado, se obtuvo un incremento en las resistencias. Sin embargo para la mezcla con sustitución del 40% la misma disminuyó, esto se debió a que su peso unitario fue menor, además, se evidenció la presencia de oquedades en los cilindros.

V.3.3. Velocidad de pulso ultrasónico

En el gráfico 18, se observó que la mezcla patrón presentó mayor velocidad de pulso ultrasónico, lo cual significa que esta fue más uniforme y homogénea con respecto a la mezclas con sustitución parcial.

A medida que se incrementó el porcentaje de sustitución del agregado, disminuyó la velocidad de la onda, posiblemente debido a que los agregados reciclados presentan mayor cantidad de poros.

V.3.4. Índice Esclerométrico

El gráfico 19 indica que la muestra con sustitución parcial del 20% presentó mayor rebote, es decir, presenta mayor dureza superficial, evidenciándose una diferencia de 5% por encima del índice de la mezcla patrón. Sin embargo, la diferencia de rebote entre la mezcla con sustitución del 30% y la mezcla patrón fue de 3%.

A pesar de que la mezcla con sustitución parcial del 20% fue mayor a la del 30%, la diferencia entre las mismas fue de apenas un 2%, manteniéndose la hipótesis de que la mezcla óptima es la del 30%.

V.3.5. Módulo de elasticidad

En el gráfico 24, se pudo apreciar que se obtuvo menos deformación la mezcla con sustitución del 30% en comparación la mezcla patrón. Y se obtuvo mayor deformación para la mezcla con sustitución del 20%.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1. Conclusiones

Cumpliendo con los objetivos planteados en este trabajo especial de grado se llegó a las siguientes conclusiones:

- ✓ Al realizar el ensayo de desgaste los ángeles al agregado grueso, se observó un contraste de 1% entre la piedra reciclada y la piedra picada. El resultado arrojado para los dos tipos de agregados se encontró por debajo del 50% de desgaste exigido (Porrero y otros, 2009).
- ✓ Se observó que el porcentaje de absorción de los agregados naturales con respecto a los agregados reciclados, variaron uno del otro. Esto debido a las partículas de cemento presentes en los agregados. Para los diseños de mezcla con sustitución de agregados, se tomó en cuenta esta propiedad, ya que a mayor absorción mayor es la cantidad de agua de mezclado.
- ✓ En cumplimiento con los objetivos planteados, para la caracterización del concreto fresco con sustitución parcial de agregados, se obtuvo un asentamiento promedio de 9,5 cm, sin embargo, pasado los 3 minutos se observó la pérdida de asentamiento y trabajabilidad, esto se debió a la absorción del agregado reciclado a largo plazo.

- ✓ Dentro de la caracterización del concreto endurecido, el peso unitario para las tres edades fue disminuyendo a medida que aumentó el porcentaje de sustitución del agregado, expresando mayor peso específico en la mezcla patrón y menor en la mezcla con sustitución del 40 %, sin embargo, se apreció que el peso unitario a los 14 días para la mezcla patrón dio por debajo del valor de la mezcla con sustitución parcial del 20 %, pues a pesar de las acciones tomadas para tener una mayor precisión en las dimensiones (altura y diámetro) y compactación de los cilindros, existieron variaciones en los resultados que se pueden atribuir a posibles errores humanos en los distintos procesos de la elaboración de las muestras y preparación de las probetas.

- ✓ Según los resultados obtenidos de resistencia a la compresión del concreto, para las diferentes edades de ensayos, se concluye que la mezcla con sustitución parcial de agregado reciclado alcanza altas resistencias iniciales, así mismo, se evidenció que la resistencia óptima fue lograda en la mezcla con sustitución parcial del 30% arrojando un valor de 306 kgf/cm^2 , superando la resistencia planteada en los objetivos. Este comportamiento se atribuyó al alto porcentaje de absorción que presentó el agregado reciclado conllevando a un incremento de casi 18 % de la resistencia con respecto al diseño de mezcla patrón. Se evidenciaron fallas por pasta, fractura de agregados en su mayoría esquistos, desconociéndose si la falla fue por agregado natural o agregado reciclado, además, se evidencio homogeneidad en las mezclas.

- ✓ En los resultados del pulso ultrasónico se observó que la mezcla patrón presentó mayor velocidad, garantizando una mejor homogeneidad y uniformidad en la pasta. Con respecto a las mezclas con sustitución parcial, se observó que a medida que incrementaban los porcentajes de sustitución, disminuían las velocidades de pulso ultrasónico correspondiendo a presencia de mayor cantidad de poros.

- ✓ Se evidenció mayor índice esclerométrico en las mezclas con sustitución parcial del 20 %, lo cual estuvo un 5% por encima del índice de la mezcla patrón.
- ✓ Se observó menos deformación para la mezcla con sustitución del 30% del agregado, considerándose esta como la dosificación óptima. Concordando con los resultados obtenidos en la resistencia a la compresión para los 28 días.
- ✓ De manera general se evidenció que los concretos elaborados con porcentajes bajos de sustitución de los agregados naturales por RCE triturado, presentaron poca variabilidad en sus propiedades mecánicas con respecto a concretos realizados con agregados convencionales.

VI.2. Recomendaciones

- ✓ Realizar al agregado grueso reciclado el ensayo para determinar la dureza al rayado.
- ✓ En el caso de emplear agregados reciclados controlar los parámetros que afecten de manera perjudicial a las mezclas, especialmente la humedad y la absorción de los agregados.
- ✓ Antes de realizar las mezclas revisar que en los agregados no existan materiales perjudiciales tales como: plástico, madera, etc.
- ✓ Se recomienda el uso de aditivos a medida que se incrementen los porcentajes de sustitución de agregados, para así obtener una mejor trabajabilidad y asentamiento de las muestras.
- ✓ Considerar la granulometría de los agregados reciclados para la obtención de la relación beta utilizada en el diseño de mezcla.
- ✓ Realizar experimentos con mayores porcentajes de sustitución de los agregados naturales por RCE triturado, para determinar hasta qué punto se pueden sustituir los mismos cumpliéndose con la resistencia de cálculo y con las propiedades mecánicas exigidas por las Normas COVENIN. Además, se recomienda su posterior comparación con los resultados obtenidos en este TEG, ya que para el porcentaje de sustitución del 40% se observó una disminución en la resistencia a compresión, aun cuando la misma estuvo por encima de los 250 kgf/m².
- ✓ Realizar nuevos diseños de mezcla, obteniendo las propiedades con la combinación del agregado natural con el reciclado.

- ✓ Realizar para otras investigaciones realizar ensayos de durabilidad a las mezclas elaboradas con RCE reciclado.

- ✓ Evaluar la aplicación de este tipo de concreto en elementos estructurales (losas, vigas, columnas, muros de corte).

REFERENCIAS

Acosta, D (2012). *Reducción y gestión de residuos de la construcción y demolición (RCD)*.

IDEC / FAU / UCV. Disponible:

http://www.google.co.ve/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDcQFjAB&url=http%3A%2F%2Fsaber.ucv.ve%2Fojs%2Findex.php%2Frev_tc%2Farticle%2Fdownload%2F3507%2F3360&ei=B27wUvK0KsKSkQeTxIAg&usg=AFQjCNH86tiYbaD7uwGjFoGhlopesnbgHA&sig2=NdcTa2MV2NofhlDnLC4vIA&bvm=bv.60444564,d.eW0. [Consulta: 20014, enero 16].

Aguilar, A (1997). *Reciclado de materiales de construcción*. [Artículo]. Disponible:

<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n2/aconst1.html>. [Consulta: 20014, enero 16].

Carrasco, Fernanda (2009). Rocas y Agregados para Hormigones. Disponible:

http://www.frsf.utn.edu.ar/matero/visitante/bajar_apunte.php?id_catedra=170&id_apunte=2243. [Consulta: 20014, enero 16].

Guardia H., Ricardo y Soto P., María (2008). *Utilización de residuos pétreos de materiales de construcción procesados como agregados en mezclas de concreto*. Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Gómez, C. *Recursos naturales no renovables*. Disponible:

<http://www2.uah.es/econ/EA/Tema6.pdf>. [Consulta: 20014, febrero 02].

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (2008). *El Concreto en la Obra. Problemas, causas y soluciones*. Disponible:

<http://www.imcyc.com/ct2008/nov08/PROBLEMAS.pdf>. [Consulta: 2014, mayo 23].

Martínez, I. y otros (2006). *Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados*. Instituto de Ingeniería, UNAM. [Revista en línea]. Disponible:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432006000300002 [Consulta: 20014, enero 16].

López A., Carla (2004). *Fundamentos del concreto*. Disponible:

<http://boletin-iccyc.com/files/files/fundamentos%20del%20concreto.pdf>.

[Consulta: 2014, mayo 26].

Lage, M. (2006). *Estudios sobre los residuos de construcción y demolición en Galicia: método de estimación de la producción anual y usos posibles para su reciclaje*

[Resumen de tesis]. [Consulta: 2014, mayo 05].

Norma COVENIN 255-1998 “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”.

Norma COVENIN 258-1988. “Método de ensayo para la determinación por lavado del contenido de materiales más finos que el cedazo COVENIN 74 micras en agregados minerales”

Norma COVENIN 266-2011 “Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos menores de 38,1 mm (1 ½ “), por medio de la maquina Los Ángeles”.

Norma COVENIN 268-1998 “Agregado Fino. Determinación de la densidad y la absorción”

Norma COVENIN 269-1998 “Agregado Grueso. Determinación de la densidad y la absorción”

Norma COVENIN 277-2000 “Concreto. Agregados. Requisitos”.

Norma COVENIN 338-2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayos de compresión de cilindros de concreto”.

Norma COVENIN 339-2003: “Concreto. Métodos para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams”:

Norma COVENIN 354 “*Método de mezclado de concreto en laboratorio*”.

Norma COVENIN 1375-1979 “*Método de ensayo para determinar por secado, el contenido de humedad total y superficial del agregado*”

Norma COVENIN 1468-1979 “*Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad en probetas cilíndricas de concreto*”.

Norma COVENIN 1609-1980 “*Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerométrica de concreto endurecido*”

Norma COVENIN 1681-1980 “*Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto*”

Porrero, J. y otros (2009). *Manual del Concreto Estructural*, 3ra edición. Caracas. 503p.

Soto I., Indara (2006). “*Uso de Residuos de Concreto estructural demolidos como áridos reciclados y su empleo en hormigones estructurales*”.

[Resumen de tesis]. [Consulta: 2014, mayo 05].

Vidaud, E. (2013). *De la historia del cemento*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C [Revista en línea]. Disponible:
http://www.imcyc.com/revistacyt/index.php?option=com_content&view=article&id=60:de-la-historia-del-cemento&catid=11&Itemid=112. [Consulta: 20014, febrero 02].

Vidaud, I., Castaño, T. y Vidaud, E. (2013). *Concreto sustentable ¿Mito o realidad?* Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C [Revista en línea]. Disponible:
<http://www.imcyc.com/revistacyt/julio2013/pdfs/ingenieria.pdf>. [Consulta: 20014, enero16].

ANEXOS

ANEXO I. Hoja de cálculo de diseño de mezcla patrón 1/ 2

DISEÑO DE MEZCLA PATRON		
Método del Manual del Concreto Estructural (Porrero, 2005) conforme con la Norma COVENIN 1753-2003		
Peso Específico del Agregado Fino (γ_A)	kgf/l	2,514
Peso Específico del Agregado Grueso (γ_G)	kgf/l	2,65
Humedad del Agregado Fino (ω_A)	%	5,71%
Humedad del Agregado Grueso (ω_G)	%	0,23%
Absorción del Agregado Fino (Ab_A)	%	2,52%
Absorción del Agregado Grueso (Ab_G)	%	1,31%
Resistencia Especificada a la Compresión ($f'c$)		
$f'c$ 28 días	250	kgf/cm ²
Control de Calidad de los Materiales		
Control de Calidad	Excelente	
Resistencia Promedio a la Compresión Requerida ($f'cr$)		
$f'cr$	310	kgf/cm ²
Relación Agua/Cemento (α)		
α	0,494	
Corrección de α		
Factor para corregir α por el tamaño máximo K_R .		
Tamaño máximo (pulgada)	1	
K_R	1,00	
Factor para corregir α por el tipo de Agregado K_A .		
Tipo de Agregado Fino	Arena Natural	
Tipo de Agregado Grueso	Piedra Triturada	
K_A	1,00	
Relación Agua /Cemento Corregida (α_c)		
α_c	0,494	
Asentamiento (T)		
Asentamiento de diseño	10	cm
Dosis de Cemento (C).		
C	423,7	kgf/m ³

ANEXO II. Hoja de cálculo de diseño de mezcla patrón 2/ 2

Corrección de C		
Factor para corregir C por el tamaño máximo C₁		
Tamaño máximo (pulgada)	1	
C ₁	1,00	
Factor para corregir C por el tipo de Agregado C₂		
Tipo de Agregado Fino	Arena Natural	
Tipo de Agregado Grueso	Piedra Triturada	
C ₂	1,00	
Dosis de cemento corregida (Cc)		
Cc	423,7	kgf/m ³
Agua de diseño (Ad)		
Ad	209,3	l/m ³
Volumen de aire atrapado (Va)		
Va	16,7	l/m ³
Relación entre la porción de agregado fino y la porción total de los agregados (β)		
β	56,80%	%
Volumen y peso de los agregados para 1 m ³		
V _{A+G}	646,9	l/m ³
γ _{A+G}	2,57	kgf/l
Peso _{A+G}	1662,5	kgf/m ³
Peso _A = A _{SSS}	944,3	kgf/m ³
Peso _G = G _{SSS}	718,2	kgf/m ³
Volumen _A	375,6	l/m ³
Volumen _G	271,0	l/m ³
Corrección por Humedad		
A _w	973,7	kgf/m ³
G _w	710,5	kgf/m ³
Agua de mezcla (Am)		
Am	187,6	l/m ³
DOSIFICACIÓN PARA 1 m ³		
COMPONENTE	PESO (kgf/m ³)	
Cemento	423,7	
Agregado Fino	973,7	
Agregado Grueso	710,5	
Agua de mezclado	187,6	

ANEXO III. Hoja de cálculo diseño de mezcla con sustitución 20%

DISEÑO DE MEZCLA CON SUSTITUCIÓN 20%
Metodo del Manual del Concreto Estructural (Porrero, 2005) conforme con la Norma COVENIN 1753-2003

Peso Especifico del Agregado Fino (γ_A)	kgf/l	2,514
Peso Especifico del Agregado Grueso (γ_G)	kgf/l	2,65
Peso Especifico del Agregado Fino Reciclado (γ_{AR})	kgf/l	1,85
Peso Especifico del Agregado Grueso Reciclado (γ_{GR})	kgf/l	2,44
Humedad del Agregado Fino (ω_A)	%	6,38%
Humedad del Agregado Grueso (ω_G)	%	0,10%
Humedad del Agregado Fino Reciclado (ω_{AR})	%	2,04%
Humedad del Agregado Grueso Reciclado (ω_{GR})	%	0,70%
Absorsion del Agregado Fino (Ab_A)	%	2,52%
Absorsion del Agregado Grueso (Ab_G)	%	1,31%
Absorsion del Agregado Fino Reciclado (Ab_{AR})	%	15,21%
Absorsion del Agregado Grueso Reciclado (Ab_{GR})	%	5,85%

Volumen de los agregados en el diseño de mezcla patrón para 1 m³

Volumen _A	375,60	l/m ³
Volumen _G	271,00	l/m ³

Volumen de los agregados con sustitucion parcial del 20% para 1 m³

Volumen _A	300,48	l/m ³
Volumen _G	216,80	l/m ³
Volumen _{AR}	75,12	l/m ³
Volumen _{GR}	54,20	l/m ³

Peso de los agregados de los agregados con sustitucion parcial del 20% para 1 m³

A _{SSS}	755,41	kgf/m ³
G _{SSS}	574,52	kgf/m ³
A _{RSSS}	138,97	kgf/m ³
G _{RSSS}	132,25	kgf/m ³

Corrección por Humedad

A _w	783,85	kgf/m ³
G _{Aw}	567,66	kgf/m ³
A _{Rw}	123,08	kgf/m ³
G _{Rw}	125,82	kgf/m ³

Agua de mezcla (A_m)

A _m	210,0	l/m ³
----------------	-------	------------------

ANEXO IV. Hoja de cálculo diseño de mezcla con sustitución 30%

DISEÑO DE MEZCLA SUSTITUCIÓN 30%

Método del Manual del Concreto Estructural (Porrero, 2005) conforme con la Norma COVENIN 1753-2003

Peso Especifico del Agregado Fino (γ_A)	kgf/l	2,514
Peso Especifico del Agregado Grueso (γ_G)	kgf/l	2,65
Peso Especifico del Agregado Fino Reciclado (γ_{AR})	kgf/l	1,85
Peso Especifico del Agregado Grueso Reciclado (γ_{GR})	kgf/l	2,44
Humedad del Agregado Fino (ω_A)	%	5,93%
Humedad del Agregado Grueso (ω_G)	%	0,17%
Humedad del Agregado Fino Reciclado (ω_{AR})	%	2,04%
Humedad del Agregado Grueso Reciclado (ω_{GR})	%	0,70%
Absorción del Agregado Fino (Ab_A)	%	2,52%
Absorción del Agregado Grueso (Ab_G)	%	1,31%
Absorción del Agregado Fino Reciclado (Ab_{AR})	%	15,21%
Absorción del Agregado Grueso Reciclado (Ab_{GR})	%	5,85%

Volumen de los agregados en el diseño de mezcla patrón para 1 m³

Volumen _A	375,60	l/m ³
Volumen _G	271,00	l/m ³

Volumen de los agregados con sustitución parcial del 30% para 1 m³

Volumen _A	262,92	l/m ³
Volumen _G	189,70	l/m ³
Volumen _{AR}	112,68	l/m ³
Volumen _{GR}	81,30	l/m ³

Peso de los agregados de los agregados con sustitución parcial del 30% para 1 m³

A _{SSS}	660,98	kgf/m ³
G _{SSS}	502,71	kgf/m ³
A _{RSS}	208,46	kgf/m ³
G _{RSS}	198,37	kgf/m ³

Corrección por Humedad

A _w	682,97	kgf/m ³
G _{Aw}	497,05	kgf/m ³
A _{Rw}	184,63	kgf/m ³
G _{Rw}	188,72	kgf/m ³

Agua de mezcla (A_m)

A _m	226,5	l/m ³
----------------	-------	------------------

ANEXO V. Hoja de cálculo diseño de mezcla con sustitución 40%

DISEÑO DE MEZCLA SUSTITUCION 40 %

Método del Manual del Concreto Estructural (Porrero, 2005) conforme con la Norma COVENIN 1753-2003

Peso Específico del Agregado Fino (γ_A)	kgf/l	2,514
Peso Específico del Agregado Grueso (γ_G)	kgf/l	2,65
Peso Específico del Agregado Fino Reciclado (γ_{AR})	kgf/l	1,85
Peso Específico del Agregado Grueso Reciclado (γ_{GR})	kgf/l	2,44
Humedad del Agregado Fino (ω_A)	%	5,26%
Humedad del Agregado Grueso (ω_G)	%	0,10%
Humedad del Agregado Fino Reciclado (ω_{AR})	%	2,04%
Humedad del Agregado Grueso Reciclado (ω_{GR})	%	0,70%
Absorción del Agregado Fino (Ab_A)	%	2,52%
Absorción del Agregado Grueso (Ab_G)	%	1,31%
Absorción del Agregado Fino Reciclado (Ab_{AR})	%	15,21%
Absorción del Agregado Grueso Reciclado (Ab_{GR})	%	5,85%

Volumen de los agregados en el diseño de mezcla patrón para 1 m³

Volumen _A	375,60	l/m ³
Volumen _G	271,00	l/m ³

Volumen de los agregados con sustitución parcial del 40% para 1 m³

Volumen _A	225,36	l/m ³
Volumen _G	162,60	l/m ³
Volumen _{AR}	150,24	l/m ³
Volumen _{GR}	108,40	l/m ³

Peso de los agregados de los agregados con sustitución parcial del 40% para 1 m³

A _{SSS}	566,56	kgf/m ³
G _{SSS}	430,89	kgf/m ³
A _{RSSS}	277,94	kgf/m ³
G _{RSSS}	264,50	kgf/m ³

Corrección por Humedad

A _w	581,70	kgf/m ³
GA _w	425,74	kgf/m ³
A _{rw}	246,17	kgf/m ³
Gr _w	251,63	kgf/m ³

Agua de mezcla (Am)

Am	244,0	l/m ³
----	-------	------------------

ANEXO VI. Dosificación para 1 m³ diseño de mezcla con sustitución 20%

DOSIFICACIÓN PARA 1 m³	
COMPONENTE	PESO (kgf/m³)
Cemento	423,7
Agregado Fino	783,9
Agregado Grueso	567,7
Agregado Fino Reciclado	123,1
Agregado Grueso Reciclado	125,8
Agua de mezclado	210,0

ANEXO VII. Dosificación para 1 m³ diseño de mezcla con sustitución 30%

DOSIFICACIÓN PARA 1 m³	
COMPONENTE	PESO (kgf/m³)
Cemento	423,7
Agregado Fino	683,0
Agregado Grueso	497,1
Agregado Fino Reciclado	184,6
Agregado Grueso Reciclado	188,7
Agua de mezclado	226,5

ANEXO VIII. Dosificación para 1 m³ diseño de mezcla con sustitución 40%

DOSIFICACIÓN PARA 1 m³	
COMPONENTE	PESO (kgf/m³)
Cemento	423,7
Agregado Fino	581,7
Agregado Grueso	425,7
Agregado Fino Reciclado	246,2
Agregado Grueso Reciclado	251,6
Agua de mezclado	244,0

ANEXO IX. Diagrama de fallas de cilindros sometidos a compresión



1. Se observa cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado.



2. Se observa comúnmente cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en límite de tolerancia especificada o excediendo esta.



3. Se observa en especímenes que presentan una superficie de carga convexa y/o deficiencia del material de cabeceo: también por concavidad del plato de cabeceo o convexidad en una de las placas de carga.



4. Se observa en especímenes que presentan una cara de aplicación cóncava y/o por deficiencias en el material de cabeceo o también por concavidad en una de las placas de carga.



5. Se observa cuando se producen concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga, por deficiencias en el material de cabeceo, rugosidades en el plato cabeceador o placas de carga.



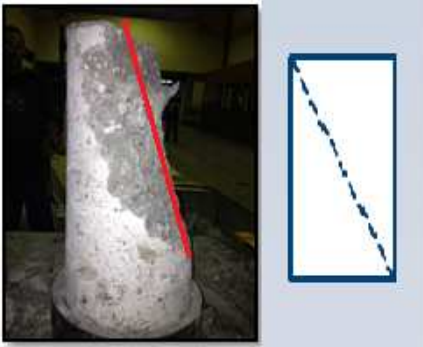
6. Se observa en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga convexa y/o por deficiencias del material de cabeceo, rugosidades en el plato cabeceador o placas de carga.



7. Se observa cuando las caras de aplicación de carga del espécimen se desvían ligeramente de las tolerancias de paralelismo establecidas, o por ligeras desviaciones en el centro del espécimen para la aplicación de carga.

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2008.

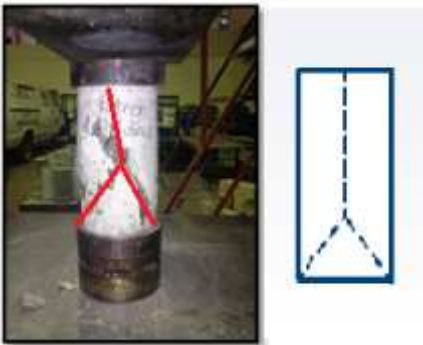
ANEXO X. Fallas de cilindros ensayados 1/2



Falla N° 2. Mezcla sustitución 20 % 14 días



Falla N° 3. Mezcla sustitución 30 % 28 días.



Falla N 6. Mezcla Patrón 28 días.



Falla N° 4. Mezcla sustitución 30% 7 días.



Falla N° 7. Mezcla sustitución 40 % 28 días.

ANEXO XI. Fallas de cilindros ensayados 2/2

