



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS**

**Y ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL CONCRETO CON ÁRIDO RECICLADO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**21441106**

**ANDREA MELISSA FLORES FERNÁNDEZ**

**21451054**

**ALDO JOSUÉ VILAFRANCA CASTILLO**

**21341126**

**JORGE ARTURO RECONCO AMAYA**

**ASESOR: ING. HÉCTOR BUSTILLO**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA**

**ABRIL, 2019**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**RECTOR:**

**MARLON ANTONIO BREVÉ REYES**

**VICERRECTOR ACADÉMICO:**

**DESIRÉE TEJEDA CALVO**

**SECRETARIO GENERAL:**

**ROGER MARTÍNEZ MIRALDA**

**VICEPRESIDENCIA CAMPUS SAN PEDRO SULA**

**CARLA MARÍA PANTOJA ORTEGA**

**JEFE ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

**HÉCTOR WILFREDO PADILLA SIERRA**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS**

**EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO**

**INGENIERO CIVIL**

**ASESOR METODOLÓGICO**

**“ING. MICHAEL JOB PINEDA”**

**ASESOR TEMÁTICO**

**ING. HÉCTOR BUSTILLO**

**MIEMBROS DE LA TERNA**

## **DERECHOS DE AUTOR**

**© COPYRIGHT**

ANDREA MELISSA FLORES FERNÁNDEZ

ALDO JOSUÉ VILLAFRANCA CASTILLO

JORGE ARTURO RECONCO AMAYA

Todos los derechos son reservados.

## **AUTORIZACIÓN**

### **AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS DE GRADO.**

Señores

#### **CENTRO DE RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACION (CRAI)**

San Pedro Sula

Estimados Señores:

La presentación del documento de tesis forma parte de los requerimientos y procesos establecidos de graduación para alumnos de pregrado de UNITEC.

Nosotros, Andrea Melissa Flores Fernández, Aldo Josué Villafranca Castillo y Jorge Arturo Reconco Amaya, de San Pedro Sula autores del trabajo de pregrado titulado: "Análisis de las propiedades mecánicas y estudio de prefactibilidad del concreto con árido reciclado ", presentado y aprobado en el año 2019, como requisito para optar al título de Profesional de Ingeniero Civil, autorizo a:

Las Bibliotecas de los Centros de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), para que, con fines académicos, pueda libremente registrar, copiar y usar la información contenida en él, con fines educativos, investigativos o sociales de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la sala de estudio de la biblioteca y la página Web de la universidad.

Permita la consulta y la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

De conformidad con lo establecido en el artículo 19 de la Ley de Derechos de Autor y de los Derechos Conexos; los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. Es entendido que cualquier copia o reproducción del presente documento con fines de lucro no está permitida sin previa autorización por escrito de parte de los principales autores.

En fe de lo cual, se suscribe la presente acta en la ciudad de San Pedro Sula en el mes de abril de dos mil diecinueve.

---

Andrea Flores Fernández

21441106

---

Aldo Villafranca Castillo

21451054

---

Jorge Reconco Amaya

21341126

## HOJA DE FIRMAS

Los abajo firmantes damos fe, en nuestra posición de miembro de Terna, Asesor y/o Jefe Académico y en el marco de nuestras responsabilidades adquiridas, que el presente documento cumple con los lineamientos exigidos por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y los requerimientos académicos que la Universidad dispone dentro de los procesos de graduación.

---

Ing. Michael Pineda  
Asesor Metodológico

---

Ing. Héctor Bustillo  
Asesor Temático

---

Ing. Coordinador de Terna

---

Ing. Miembro de Terna

---

Ing. Miembro de Terna

---

Ing. Héctor Padilla

Jefe Académico de Ingeniería Civil | UNITEC

## **DEDICATORIA**

Primeramente, a Dios, por iluminar mi mente, fortalecer mi corazón y acompañarme en cada paso que doy. A mis padres Hermes Adalberto Flores Ventura y Miriam Clementina Fernández Fernández por confiar en mí, apoyarme en mis estudios, por plantar en mi sueños y metas, pero más que nada por su amor incondicional. A mis abuelos Isaías Flores y Berta Ventura por demostrarme el significado del trabajo duro, por enseñarme a ser perseverante y por mantenerme en sus oraciones diariamente. A mis amistades y compañeros por su atención y apoyo durante toda la carrera universitaria. A mi novio y compañero Aldo Josué Villafranca Castillo quien ha sido mi inspiración y un ejemplo que seguir. Finalmente, a mis maestros quienes han formado parte de esta única etapa aportando su conocimiento para formar futuros profesionales.

Andrea Melissa Flores Fernández

Dedico esta tesis a Dios, por ser el pilar de mi vida en cada momento y mi mayor fuente de voluntad para llegar a cabo mis estudios. A mis padres Aldo Villafranca y Karla Castillo por apoyarme incondicionalmente durante toda mi formación, por inspirarme a dar lo mejor de mí y enseñarme los valores fundamentales de la vida. A mis abuelos Teófilo Castillo y Yolanda Gutiérrez por ser imprescindibles en mi formación y brindarme los dos mejores ejemplos de esfuerzo, perseverancia y emprendimiento que se podrían tener. De igual manera agradezco profundamente a Amílcar Flores, por ser una gran figura en mi hogar. Finalmente agradezco a mi novia y compañera Andrea Flores, mis amigos, familia, compañeros, maestros por apoyarme en incontables momentos durante mi carrera profesional.

Aldo Villafranca

A Dios, primeramente, por su amor, que es la fuerza que me ayuda a vivir cada día. A mis padres, Jorge Arturo Reconco Rodriguez y Deysi Lindali Amaya Quiroz, por ser ambos mi ejemplo a seguir, por amarme, aconsejarme, y brindarme toda la formación necesaria para ser un hombre y un profesional de bien. Asimismo, a mis amistades y demás familiares. A los maestros y compañeros con los cuales pude compartir en este inolvidable trayecto.

Jorge Arturo Reconco Amaya

## **AGRADECIMIENTOS**

### **ETERNA-CONETSA**

Se les agradece abrir las puertas y así hacer posible la realización de este estudio. Igualmente se agradece su apoyo técnico, intelectual y material a nuestro proyecto de graduación. Ingeniero Héctor Bustillo, Kathia Argueta, Don Emiliano, Don Oscar Núñez, Juan Carlos, Oberdan Bueso, Will Núñez, Jeefrin Láinez, Oscar Torres y Don Ricardo Gonzales se les agradece por su atención en el día a día.

### **UNITEC**

Por ser nuestra principal Alma Mater en estudios Universitarios y brindarnos los conocimientos y valores fundamentales de un Ingeniero Civil de calidad para el servicio de Honduras.



## RESUMEN EJECUTIVO

Se debe investigar sobre nuevas técnicas en el rubro de la construcción que permitan reducir el impacto ambiental negativo que se genera en las obras por desecho de desperdicios. Al mismo tiempo, se reducen gastos relacionados a la correcta disposición de estos residuos. La investigación en cuestión analizó las propiedades físicas y mecánicas de un agregado grueso reciclado proveniente de partículas de adoquines, testigos y escombros de concreto triturado mediante una trituradora de impacto, bajo las normas de diseño del ACI y ASTM. Se evaluaron las propiedades físicas de peso volumétrico, gravedad específica, absorción y desgaste de los ángeles para cada agregado (#4, #6, #4 reciclado, 467, 467 reciclado). Los agregados reciclados presentaron propiedades iguales a las de los agregados ordinarios a excepción del agregado reciclado triturado a tamaño #4, ya que no cumple con el porcentaje adecuado de desgaste por abrasión según la norma ASTM-C131. Se diseñaron 2 mezclas de control y 3 mezclas con sustitución de agregado grueso por RCD de: tamaño máximo nominal, 35% de agregado grueso y 100% agregado grueso. Se contó con una muestra de 36 testigos de concreto de los cuales 18 eran cilíndricos de 6" de base por 12" de altura puestos a prueba bajo la normativa ASTM-C39, y 18 prismáticos de 6"x6"x21" evaluados según la normativa ASTM-C78. Las pruebas a compresión y flexión se realizaron a los 7 y 28 días de edad de los testigos. Las mezclas con sustitución cumplieron con la resistencia esperada tanto a compresión como a flexión. Se analizaron los valores de las roturas mediante un análisis estadístico no paramétrico con el fin de validar los datos resultando en la aceptación de todas las hipótesis de investigación. Dentro del análisis expuesto se considera que la técnica abordada se puede utilizar perfectamente en proyectos sociales y obras civiles de gran envergadura. Como consecuencia de lo expuesto, se puede concluir que un concreto reciclado cumple con todas las características mecánicas para ser utilizado bajo el mismo funcionamiento que un concreto hidráulico ordinario con una resistencia de 4000 PSI a compresión y 600 PSI a flexión y al mismo tiempo proporcionando un ahorro económico de L 65.71 / m<sup>3</sup> en su producción.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
2.1. <b>Antecedentes .....</b>	<b>2</b>
2.2. <b>Definición del Problema.....</b>	<b>4</b>
2.2.1. Enunciado Del Problema.....	4
2.2.2. Formulación Del Problema .....	4
2.3. <b>Preguntas de Investigación.....</b>	<b>4</b>
2.4. <b>Objetivos.....</b>	<b>5</b>
2.4.1. Objetivo General .....	5
2.4.2. Objetivos Específicos .....	5
2.5. <b>Justificación.....</b>	<b>6</b>
2.5.1 Limitaciones del Proyecto .....	6
<b>CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Análisis de la situación actual .....</b>	<b>8</b>
3.1.1 Análisis del macroentorno.....	8
3.1.2 Análisis del microentorno.....	21
3.1.3 Análisis Interno .....	24
<b>3.2 Teoría de sustento .....</b>	<b>26</b>
3.2.1 Norma ASTM C-33 Especificación normalizada de agregados para concreto.....	27
3.2.2 Norma ASTM C-136 Análisis granulométrico por tamizado .....	27
3.2.3 Norma ASTM C-29 Peso volumétrico de los agregados .....	28
3.2.4 Norma ASTM C-128 Ensayo para determinar la densidad, peso específico y absorción .....	29
3.2.5 Norma ASTM C-131 Resistencia al desgaste por medio de la máquina de los ángeles.....	30
3.2.6 Norma ACI-211.1 Diseño de mezcla de concreto .....	31
3.2.7 Norma ASTM C-192 Preparación y curado de especímenes de concreto .....	35

3.2.8 Norma ASTM C-39 Prueba de Resistencia a la compresión.....	35
3.2.9 Norma ASTM C-78 Resistencia a la flexión del concreto .....	36
3.2.10 Norma ACI-555 Remoción y Reutilización de concreto endurecido.....	37
3.2.11 Alcance, Ventajas y Limitaciones.....	37
<b>3.3 Marco Conceptual .....</b>	<b>38</b>
<b>3.4 Marco Legal .....</b>	<b>42</b>
3.4.1 Ley General del ambiente .....	42
<b>CAPITULO IV. METODOLOGÍA.....</b>	<b>43</b>
<b>4.1 Operacionalización de las variables.....</b>	<b>43</b>
4.1.2 Tabla de Operacionalización .....	45
4.1.3 Hipótesis.....	47
<b>4.2 Enfoque y Métodos .....</b>	<b>50</b>
4.2.1 Tipo de diseño.....	50
<b>4.3 Población y muestra.....</b>	<b>52</b>
4.3.1 Población.....	52
4.3.2 Tamaño de la muestra.....	52
4.3.3 Desarrollo de nomenclatura para muestras.....	53
<b>4.4 Técnicas e Instrumentos.....</b>	<b>54</b>
4.4.1 Técnicas .....	54
4.4.2 Instrumentos .....	63
<b>4.5 Unidad de Análisis y Respuesta.....</b>	<b>69</b>
4.5.1 Unidad de análisis .....	69
4.5.2 Unidad de Respuesta.....	69
<b>4.6 Materiales.....</b>	<b>69</b>
<b>4.7 Fuentes de Información.....</b>	<b>73</b>
4.7.1 Fuentes Primarias .....	73
4.7.2 Fuentes Secundarias .....	73

<b>4.8 Cronograma de actividades .....</b>	<b>73</b>
<b>4.9 Diagrama de Gaant.....</b>	<b>74</b>
<b>CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
<b>5.1 Granulometría y Gradación De Los Agregados .....</b>	<b>76</b>
5.1.1 Muestra de trituración 1.....	77
5.1.2 Muestra de trituración 2.....	79
5.1.3 Muestra de trituración 3.....	80
5.1.4 Muestra de Trituración 4 .....	82
5.1.5 Muestra de trituración 5.....	84
<b>5.2 Resultados De Ensayos Para Arena Fina .....</b>	<b>85</b>
5.2.1 Gravedad Específica y Absorción .....	85
<b>5.3 Resultados De Ensayos Para Agregado Grueso #4 Combinado Con #6 .....</b>	<b>87</b>
5.3.1 Gravedad Específica y Absorción .....	87
5.3.2 Peso Volumétrico Suelto Seco.....	88
5.3.3 Peso Volumétrico Compactado Seco .....	88
5.3.4 Desgaste de Los Ángeles.....	89
<b>5.4 Resultados De Ensayos Para Agregado Grueso #4 Reciclado .....</b>	<b>89</b>
5.4.1 Gravedad Específica y Absorción .....	89
5.4.2 Peso Volumétrico Suelto Seco.....	90
5.4.3 Peso Volumétrico Compactado.....	91
5.4.4 Desgaste de los Ángeles.....	91
<b>5.5 Resultados De Ensayos Para Agregado Tamaño 467 .....</b>	<b>92</b>
5.5.1 Gravedad Específica y Absorción .....	92
5.5.2 Peso Volumétrico Suelto Seco.....	93
5.5.3 Peso Volumétrico Compactado Seco .....	93
5.5.4 Desgaste de los ángeles.....	94
<b>5.6 Resultados De Ensayos Para Agregado Tamaño 467 Reciclado .....</b>	<b>94</b>
5.6.1 Gravedad Específica y Absorción .....	94
5.6.2 Peso volumétrico Suelto .....	95

5.6.3	Peso Volumétrico Compactado Seco .....	96
5.6.4	Desgaste de los Ángeles .....	96
<b>5.8</b>	<b>Diseños de Mezcla De Concreto .....</b>	<b>97</b>
5.8.1	Mezcla Control 1 .....	104
5.8.2	Mezcla 1 con Sustitución de TMA por RCD .....	111
5.8.3	Mezcla Control 2 .....	118
5.8.4	Mezcla 2 con 35% de Sustitución .....	125
5.8.5	Mezcla 3 con 100% de Sustitución .....	132
<b>5.9</b>	<b>Revenimientos .....</b>	<b>139</b>
5.9.1	Mezcla Control 1 .....	139
5.9.2	Mezcla 1 con Sustitución de agregado #4 por RCD .....	140
5.9.3	Mezcla Control 2 .....	141
5.9.4	Mezcla 2 con Sustitución de 35% .....	141
5.9.5	Mezcla 3 con Sustitución de 100% .....	142
<b>5.10</b>	<b>Rotura De Testigos .....</b>	<b>142</b>
5.10.1	Roturas a los 7 días de edad .....	145
5.10.2	Roturas a los 28 días de edad .....	160
<b>5.11</b>	<b>Análisis Estadístico De Los Resultados .....</b>	<b>179</b>
5.11.1	Análisis de resultados para Mezcla Control 1 vs Mezcla 1 .....	180
5.11.2	Análisis de resultados para Mezcla Control 2 vs Mezcla 2 .....	182
5.11.3	Análisis para valores a compresión de Control 2 vs Mezcla 3 .....	186
<b>5.12</b>	<b>Gráficas comparativas de los resultados .....</b>	<b>190</b>
5.12.1	Propiedades Físicas de Agregado #4 y #6 Ordinario vs #4 proveniente de RCD .....	190
5.12.2	Propiedades Físicas de Agregado 467 Ordinario vs 467 proveniente de RCD .....	192
5.12.3	Resistencias a Compresión .....	194
5.12.3	Resistencias a Flexión .....	199
<b>CAPÍTULO VII.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>204</b>
<b>CAPÍTULO VIII.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>206</b>
<b>CAPÍTULO IX.</b>	<b>APLICABILIDAD .....</b>	<b>207</b>

<b>9.1 Costo y Detalle de Grava Reciclada .....</b>	<b>208</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>211</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>217</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los elementos del puente antiguo sobre el río Turia	9
Tabla 2. Tipos y volumen de concreto del puente Manises-Paterna.	10
Tabla 3. Diseño de cantidades de materiales para concreto en estudio serbio.	14
Tabla 4. Participación de RCD en agregados reciclados de Estudio Serbio	14
Tabla 5. Resultados de revenimientos en estudio serbio.	14
Tabla 6. Resultados de resistencia a compresión (Estudio Serbio)	15
Tabla 7. Resultados en propiedades del concreto en estudio serbio.	15
Tabla 8. Composición de los áridos reciclados utilizados en estudio de Córdoba, España.	17
Tabla 9. Resultados de granulometría de los agregados reciclados	18
Tabla 10. Tabla de caracterización de agregados	19
Tabla 11. Especificaciones granulométricas	27
Tabla 12. Clasificación de agregado por desgaste	30
Tabla 13. Cantidad de agua y contenido de aire para diferentes revenimientos y TMA.	32
Tabla 14. Valores de relación agua-cemento	33
Tabla 15. Estimación del contenido del agregado grueso	33
Tabla 16. Primer estimado del peso unitario de concreto.	34
Tabla 17. Operacionalización de las variables	43
Tabla 18. Tabla de Operacionalización	45
Tabla 19. Tipo de Diseño	49
Tabla 20. Muestra de Testigos Cilíndricos	51
Tabla 21. Muestra de Vigas Simples	52
Tabla 22. Parámetros para aceptación de los agregados	59
	IX

Tabla 23. Cronograma de Actividades	73
Tabla 24. Gradación de los agregados	76
Tabla 25. Granulometría de agregado tamaño 4	77
Tabla 26. Granulometría de agregado tamaño 6	79
Tabla 27. Granulometría de agregado tamaño 4 Reciclado	80
Tabla 28. Granulometría de agregado tamaño 467	82
Tabla 29. Granulometría de agregado tamaño 467 Reciclado	84
Tabla 30. Probabilidades asociadas con valores de Z	98
Tabla 31. Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción	99
Tabla 32. Contenido de agua en kg por metro cúbico de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado	100
Tabla 33. Valor de relación agua-cemento	101
Tabla 34. Contenido de agregado grueso	101
Tabla 35. Resultados iniciales de pesos para mezcla control 1	106
Tabla 36. Análisis de combinación granulométrica para mezcla control 1	107
Tabla 37. Pesos finales para mezclado de MC-1	110
Tabla 38. Resultados iniciales de pesos para mezcla 1 con RCD	113
Tabla 39. Análisis de combinación granulométrica para mezcla 1 con RCD	113
Tabla 40. Pesos iniciales corregidos de mezcla 1 con RCD	114
Tabla 41. Pesos Finales de mezclado para mezcla 1 con RCD	117
Tabla 42. Resultados iniciales para mezcla control 2	120
Tabla 43. Análisis de combinación granulométrica para mezcla control 2	120
Tabla 44. Pesos finales para mezclado de MC-2	123



Tabla 45. Resultados iniciales de pesos para mezcla 2 con RCD	126
Tabla 46. Análisis de combinación granulométrica para mezcla 2 con 35% de RCD	127
Tabla 47. Pesos iniciales corregidos de mezcla 2 con RCD	128
Tabla 48. Pesos Finales de mezclado para mezcla 2 con RCD	131
Tabla 49. Resultados iniciales de pesos para mezcla 3	133
Tabla 50. Análisis de combinación granulométrica para mezcla 3 con 100% de RCD	134
Tabla 51. Pesos iniciales corregidos de mezcla 3 con RCD	134
Tabla 52. Pesos Finales de mezclado para mezcla 3 con RCD	137
Tabla 53. Resumen de propiedades físicas para agregado #4 ordinario vs #4 Reciclado	190
Tabla 54. Resumen de propiedades físicas para agregado 467 ordinario vs 467 Reciclado	191
Tabla 55. Resumen de resultados de resistencia a compresión de los testigos	193
Tabla 56. Resumen de resultados resistencia a flexión de los testigos	198
Tabla 57. Ficha de costo de concreto ordinario	205
Tabla 58. Ficha de costo de concreto con grava reciclada	207

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Vistas virtuales del puente Manises-Paterna	8
Ilustración 2. Material reciclado antes y después de trituración en Serbia.	12
Ilustración 3. Curvas granulométricas de agregado natural en estudio serbio.	13
Ilustración 4. Curvas granulométricas de RCD como agregado grueso en estudio serbio.	13
Ilustración 5. Valores Relativos R50/R0 y R100/R0 en propiedades de concreto endurecido.	16
Ilustración 6. Etapas del proyecto de calle en Útila	21
Ilustración 7. Construcción de viviendas con botellas	22
Ilustración 8. Viviendas terminadas	23
Ilustración 9. Diagrama de Variables de Operacionalización	44
Ilustración 10. Diagrama de nomenclatura de muestras	53
Ilustración 11. Ensayo de peso volumétrico	54
Ilustración 12. Ensayo de granulometría	55
Ilustración 13. Ensayo de peso específico	57
Ilustración 14. Máquina para prueba de Desgaste de los Ángeles	58
Ilustración 15. Obtención de material en tamiz 12 para desgaste	58
Ilustración 16. Mezcla de concreto	60
Ilustración 17. Elaboración de probetas cilíndricas	61
Ilustración 18. Elaboración de probetas prismáticas	61
Ilustración 19. Formato para análisis granulométrico	65
Ilustración 20. Formato para análisis de peso específico	66
Ilustración 21. Formato para análisis de peso volumétrico	67
Ilustración 22. Agregado Fino	69
	XII

Ilustración 23. Agregado Grueso	69
Ilustración 24. Cemento Tipo HE	70
Ilustración 25. Agregado de RCD	71
Ilustración 26. Trituradora de Impacto en ETERNA-CONETSA	71
Ilustración 27. Agua	72
Ilustración 28. Testigos y adoquines de concreto antes y después de trituración	75
Ilustración 29. Gráfica granulométrica de agregado tamaño 4	78
Ilustración 30. Gráfica granulométrica de agregado tamaño 6	80
Ilustración 31. Gráfica granulométrica de agregado tamaño 4 Reciclado	81
Ilustración 32. Gráfica granulométrica de agregado tamaño 467	83
Ilustración 33. Gráfica granulométrica de agregado tamaño 467 Reciclado	85
Ilustración 34. Captura de pantalla tomada del ACI C94	102
Ilustración 35. Curva tamiz-Porcentaje pasado de Mezcla Control 1	107
Ilustración 36. Gráfica abertura-PRI de Mezcla Control 1	108
Ilustración 37. Curva tamiz-Porcentaje pasado de Mezcla 1 con RCD	114
Ilustración 38. Gráfica abertura-PRI de Mezcla 1 con RCD	115
Ilustración 39. Curva tamiz-Porcentaje pasado de Mezcla Control 2	121
Ilustración 40. Gráfica abertura-PRI de Mezcla Control 2	122
Ilustración 41. Curva tamiz-Porcentaje pasado de Mezcla 2	128
Ilustración 42. Gráfica abertura-PRI de Mezcla 2	129
Ilustración 43. Curva tamiz-Porcentaje pasado de Mezcla 3 con RCD	135
Ilustración 44. Gráfica abertura-PRI de Mezcla 3 con RCD	136
Ilustración 45. Cono de Abrams	138

Ilustración 46. Revenimiento de mezcla control 1	139
Ilustración 47. Revenimiento de Mezcla 1	139
Ilustración 48. Revenimiento de Mezcla Control 2	140
Ilustración 49. Revenimiento de Mezcla 2 con sustitución de 35%	140
Ilustración 50. Revenimiento de Mezcla 3 con 100% de sustitución	141
Ilustración 51. Curado de testigos en pilas	141
Ilustración 52. Testigos cilíndricos cabeceados	142
Ilustración 53. Tipos de falla para testigos cilíndricos	143
Ilustración 54. Marcaje de tercios en viga simple	143
Ilustración 55. Carga máxima a compresión CA107-000	145
Ilustración 56. Falla a compresión CA107-000	146
Ilustración 57. Carga máxima a flexión VA107-000	146
Ilustración 58. Carga máxima a compresión CC107-100	147
Ilustración 59. Falla a compresión CC107-100	148
Ilustración 60. Carga máxima a flexión VC107-100	148
Ilustración 61. Carga máxima a compresión CD107-000	149
Ilustración 62. Carga máxima a compresión CD207-000	149
Ilustración 63. Falla a compresión CD107-000	150
Ilustración 64. Falla a compresión CD207-000	151
Ilustración 65. Carga máxima a flexión VD107-000	151
Ilustración 66. Carga máxima a flexión VD207-000	152
Ilustración 67. Carga máxima a compresión CB107-035	153
Ilustración 68. Carga máxima a compresión CB207-035	153

Ilustración 69. Falla por compresión CB107-035	154
Ilustración 70. Falla por compresión CB207-035	154
Ilustración 71. Carga máxima a flexión VB107-035	155
Ilustración 72. Carga máxima a flexión VB207-035	155
Ilustración 73. Carga máxima a compresión CB107-100	156
Ilustración 74. Carga máxima a compresión CB207-100	156
Ilustración 75. Falla por compresión CB107-100	157
Ilustración 76. Falla por compresión CB207-100	158
Ilustración 77. Carga máxima a flexión VB107-100	158
Ilustración 78. Carga máxima a flexión VB207-100	159
Ilustración 79. Carga máxima a compresión CA128-000	160
Ilustración 80. Carga máxima a compresión CA228-000	160
Ilustración 81. Falla por compresión CA128-000	161
Ilustración 82. Falla a compresión CA228-000	162
Ilustración 83. Carga máxima a flexión VA128-000	162
Ilustración 84. Carga máxima a flexión VA228-000	163
Ilustración 85. Carga máxima a compresión CC128-100	164
Ilustración 86. Carga máxima a compresión CC228-100	164
Ilustración 87. Falla por compresión CC128-100	165
Ilustración 88. Falla a compresión CC228-100	166
Ilustración 89. Carga máxima a flexión VC128-100	166
Ilustración 90. Carga máxima a flexión VC228-100	167
Ilustración 91. Carga máxima a compresión CD128-000	168

Ilustración 92. Carga máxima a compresión CD228-000	168
Ilustración 93. Falla por compresión CD128-000	169
Ilustración 94. Falla a compresión CD228-000	170
Ilustración 95. Carga máxima a flexión VD128-000	170
Ilustración 96. Carga máxima a flexión VD228-000	171
Ilustración 97. Carga máxima a compresión CB128-035	172
Ilustración 98. Carga máxima a compresión CB228-035	172
Ilustración 99. Falla por compresión CB128-035	173
Ilustración 100. Falla por compresión CB228-035	173
Ilustración 101. Carga máxima a flexión VB128-035	174
Ilustración 102. Carga máxima a flexión VB228-035	174
Ilustración 103. Carga máxima a compresión CB128-100	175
Ilustración 104. Carga máxima a compresión CB228-100	175
Ilustración 105. Falla por compresión CB128-100	176
Ilustración 106. Falla por compresión CB228-100	177
Ilustración 107. Carga máxima a flexión VB128-100	177
Ilustración 108. Carga máxima a flexión VB228-100	178
Ilustración 109. Resultados de compresión Mann-Whitney C1vsM1	180
Ilustración 110. Resultados de flexión Mann-Whitney C1vsM1 (28 días)	181
Ilustración 111. Resultados a compresión de Mann-Whitney C2vsM2 (7 Días)	182
Ilustración 112. Resultados a compresión de Mann-Whitney C2vsM2 (28 Días)	183
Ilustración 113. Resultados de flexión Mann-Whitney C2vsM2 (7 días)	184
Ilustración 114. Resultados de flexión Mann-Whitney C2vsM2 (28 días)	185

Ilustración 115. Resultados a compresión de Mann-Whitney C2vsM3 (7 Días)	186
Ilustración 116. Resultados a compresión de Mann-Whitney C2vsM3 (28 Días)	187
Ilustración 117. Resultados a flexión de Mann-Whitney C2vsM3 (7 Días)	188
Ilustración 118. Resultados a flexión de Mann-Whitney C2vsM3 (28 Días)	189
Ilustración 119. Graficas comparativas para agregado #4 control vs #4 reciclado	190
Ilustración 120. Graficas comparativas para agregado 467 control vs 467 reciclado	192
Ilustración 121. Gráfica comparativa de Resistencia a compresión C1vsM1 (7Días)	194
Ilustración 122. Gráfica comparativa de Resistencia a compresión C2vsM2 (7Días)	195
Ilustración 123. Gráfica comparativa de Resistencia a compresión C2vsM3 (7Días)	196
Ilustración 124. Gráfica comparativa de Resistencia a compresión C1vsM1 (28Días)	196
Ilustración 125. Gráfica comparativa de Resistencia a compresión C2vsM2 (28Días)	197
Ilustración 126. Gráfica comparativa de Resistencia a compresión C2vsM3 (28Días)	197
Ilustración 127. Gráfica comparativa de Resistencia a flexión C1vsM1 (7Días)	199
Ilustración 128. Gráfica comparativa de Resistencia a flexión C2vsM2 (7Días)	200
Ilustración 129. Gráfica comparativa de Resistencia a flexión C2vsM3 (7Días)	200
Ilustración 130. Gráfica comparativa de Resistencia a flexión C1vsM1 (28Días)	201
Ilustración 131. Gráfica comparativa de Resistencia a flexión C2vsM2 (28Días)	202
Ilustración 132. Gráfica comparativa de Resistencia a flexión C2vsM3 (28Días)	202

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Peso volumétrico de los agregados	28
Ecuación 2. Porcentaje de huecos en un agregado	28
Ecuación 3. Peso Específico Bulk	29
Ecuación 4. Peso específico Bulk saturado con superficie seca	29
Ecuación 5. Peso específico aparente	29
Ecuación 6. Porcentaje de Absorción	29
Ecuación 7. Porcentaje de desgaste de un agregado	30
Ecuación 8. Cálculo del módulo de ruptura con fractura en tercio medio	35
Ecuación 9. Cálculo del módulo de ruptura con fractura fuera del tercio medio	36
Ecuación 10. Porcentaje de desgaste de los agregados	59
Ecuación 11. Relación entre el módulo de ruptura y la resistencia a la compresión	96
Ecuación 12. Cálculo de $F'_{cr}$ por método de desviación estándar	97
Ecuación 13. Cálculo de $F'_{cr}$ por método de coeficiente de variación	98
Ecuación 14. Volumen de un cilindro	102
Ecuación 15. Volumen de un prisma	102
Ecuación 16. Peso Húmedo de un agregado	103
Ecuación 17. Agua Libre para un agregado	103
Ecuación 18. Agua Libre total	103
Ecuación 19. Agua de Mezclado Final	103
Ecuación 20. Resistencia a compresión en PSI	142
Ecuación 21. Módulo de rotura	144



## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

El concreto hidráulico es el segundo material más consumido en el mundo, después del agua. En el sector construcción, este representa uno de los principales elementos para ejecutar obras, las cuales generan una creciente acumulación de residuos. Honduras no es la excepción en esta problemática ya que la totalidad de los desperdicios son depositados en vertederos, ríos y rellenos sanitarios ocasionando un impacto negativo en el ambiente. Los desechos provenientes de construcción y demolición (RCD) pueden implementarse como un porcentaje de agregado en una mezcla de concreto hidráulico completamente nueva cumpliendo con las especificaciones de diseño del ACI-211. El estudio que se presenta tiene como principal objetivo contribuir al mejor conocimiento del concreto reciclado cumpliendo con normativas, difiriendo entre las propiedades de los agregados reciclados con respecto a las gravas comunes de San Pedro Sula así como también dar a conocer su influencia en el concreto. El proceso de reciclado según el ACI-555 comienza con el triturado de escombros, especímenes o cualquier fuente de concreto endurecido con el objetivo de obtener un agregado de tamaño específico. Hecho lo anterior se realizan las pruebas necesarias a los áridos reciclados para el diseño de una mezcla con una resistencia a compresión y tracción deseada.

Constructivamente, los beneficios del concreto hidráulico reciclado son similares y en algunos casos mejores que los de un concreto ordinario. Una vez realizados los ensayos pertinentes y comprobado mediante los mismos que su resistencia a compresión y tracción cumple con los resultados esperados en el diseño, el concreto hidráulico reciclado sin duda generará atención en el medio. Desde el punto de vista ambiental, el reciclaje de los RCD brinda diversos beneficios, como por ejemplo evitar que los residuos terminen en rellenos sanitarios, terrenos o ríos y de esa manera mitigar la degradación de los recursos naturales que poseemos.

Los materiales de construcción en Honduras están constantemente al alza. La implementación de este proceso a un nivel industrial puede ofrecer beneficios económicos en productos derivados del reciclado del RCD, tales como bloques, pavimentos, adoquines, gaviones, muros y obras civiles de menor escala.

## **CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En este capítulo se presentan los antecedentes del estudio que se pretende realizar, dentro de los cuales se encuentran investigaciones y esfuerzos previos relacionados al contenido de la presente tesis. Seguidamente, se definirá la problemática a la cual se le busca dar una solución óptima. Esto se facilitará mediante la creación de preguntas de investigación, las cuales se contestarán con el tema a evaluar. Posteriormente se definirán los objetivos en dos partes, generales y específicos, estos serán la base para la investigación. Finalmente, se hará una justificación de la investigación estableciendo los diferentes beneficios que esta provee. Dentro de estos destacan los ambientales, constructivos y económicos.

### **2.1. ANTECEDENTES**

Posterior a la segunda guerra mundial, países como Francia, Alemania e Inglaterra quedaron totalmente devastados, lo que ocasionó la acumulación excesiva de escombros. Ingenieros de la época plantearon diversas soluciones para encontrar la solución a la problemática. La idea de utilizar los escombros como un porcentaje de agregado grueso para realizar una nueva mezcla de concreto hidráulico tuvo como éxito lograr contrarrestar la acumulación de escombros que se encontraban en las diferentes ciudades europeas, particularmente en Alemania y Gran Bretaña. Además, representó un avance en el entendimiento del reciclaje de concreto hidráulico.

En Europa, la utilización de los áridos reciclados procedentes de los residuos de construcción y demolición (RCD) está orientada, fundamentalmente, hacia la construcción de secciones de carreteras, si bien en determinados países dichos áridos se utilizan también en la fabricación de hormigón estructural (Vegas, Azkarate, Jurrero, & Frías, 2009).

En Estados Unidos la Asociación Federal de Carreteras, recicla los pavimentos de hormigón antiguos para la construcción de nuevos proyectos (Natalini, Klees, & Tirner, 2000) afirman que: "En 1985, durante la ampliación de 7.000 carreteras en Wyoming, el agregado fue una mezcla de materiales naturales y reciclados, con lo que se ahorró el 16% del costo total".

De la misma manera, este proceso se implementó en Valencia, España. La carretera CV-371, que comunica a los municipios de Manises y Paterna, cruzaba el cauce del río Turia mediante un puente de 145 m de longitud formado por 9 vanos cortos. Según estudios realizados, era preciso

ampliar el antiguo puente para permitir con seguridad la circulación de peatones y bicicletas. Hechas las observaciones anteriores, se proyectó la construcción de un nuevo puente de vanos asimétricos de 55 metros y 90 metros de luz en el emplazamiento del anterior. "Ello implicaba la demolición del puente existente, por lo que se propuso el reciclaje del hormigón de este como árido para su empleo en la nueva obra" (Alaejos , 2011, p. 4).

Estudios demuestran que, en esfuerzos anteriores ya se han estudiado algunas propiedades mecánicas tales como: consistencia, contenido de aire incluido, resistencia a compresión, resistencia a tracción, módulo de elasticidad y retracción, utilizando porcentajes de implementación de agregado grueso reciclado de 20%, 50% y 100% (Sanchez , 2004).

Un estudio en la Universidad de Liverpool también ha considerado el potencial del uso de residuos de construcción y demolición (RCD) como agregado grueso en la fabricación de productos derivados de hormigón prefabricado, es decir, bloques de construcción y adoquines. Según (Soutsos , Tang , & Millard, 2011) : "Los resultados de este programa de investigación indican que el agregado de demolición reciclado se puede usar para este nuevo mercado de mayor valor y, por lo tanto, puede alentar a los contratistas de demolición a desarrollar instalaciones de trituración y cribado para esto. "

En la actualidad países desarrollados americanos y europeos implementan con éxito los RCD de estructuras antiguas en proyectos nuevos, incluidos los Estados Unidos, Sudáfrica, Países Bajos, Reino Unido, Alemania, Francia, Rusia, Canadá y Japón (Olorunsogo & Padayachee, 2002). Dicho lo anterior podemos observar que la situación actual a nivel mundial sobre la utilización de residuos de concreto no es tema nuevo y hay suficiente base investigativa para realizar un estudio similar en Honduras. "Actualmente, se utiliza RCD como un agregado en subbases granulares, subbases de concreto magro, suelo-cemento y en concreto nuevo como única fuente de agregados o como reemplazo parcial de agregados nuevos" (Masood, Ahmad, Arif, & Mahdi, 2002, p. 16). La iniciativa de reciclar residuos de construcción ha tomado interés a nivel legislativo en países asiáticos. Como lo afirma (Noguchi, 2005): "El Ministerio de suelo, Infraestructura y Transporte ha jugado un papel fundamental en el reciclaje de Japón del 96% de los residuos de concreto de la nación a través de iniciativas del Plan de reciclaje 21 y Plan de Promoción del Reciclaje de la Construcción '97" (p.410).

Desde hace unos años atrás, en Honduras, la Constructora ETERNA S.A y CONETSA hacen uso de los desperdicios de bloques implementándolos como agregado fino en la nueva fabricación de bloques. Este método se ha establecido para incrementar el ahorro económico y sacar el mayor provecho de ciertos materiales que se clasifican como residuos durante el proceso de construcción.

## **2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Conociendo los antecedentes relacionados al tema de investigación se proseguirá a la definición del problema. Dicha definición se separa en dos partes: el enunciado del problema y la formulación del problema las cuales son imprescindibles al momento de realizar y formular las preguntas de investigación y los objetivos.

### **2.2.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA**

“El creciente consumo de concreto hidráulico premezclado en Honduras tiene como resultado altos volúmenes de desechos y escombros. La carencia de estudios disponibles sobre el tema en discusión limita el aprovechamiento en la reutilización de estos materiales.”

### **2.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Es factible económica y constructivamente utilizar residuos de construcción y demolición (RCD) como un porcentaje de agregado grueso en una mezcla nueva de concreto hidráulico?

## **2.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- 1) ¿Cómo difieren las propiedades físicas de peso volumétrico, granulometría, gravedad específica, revenimiento y porcentaje de absorción de los escombros con respecto a las de una grava común utilizada en una mezcla nueva de concreto hidráulico?
- 2) ¿Cuál es el efecto en la resistencia a compresión y tracción de una mezcla de concreto al sustituir un porcentaje de agregado grueso por desperdicios de testigos, adoquines y escombros para su utilización en un pavimento de concreto hidráulico?

- 3) ¿Es posible sustituir únicamente el tamaño máximo nominal de árido por RCD en una mezcla de concreto hidráulico para su utilización en un pavimento de concreto hidráulico?
- 4) Obtenidos los resultados, ¿Cuál sería el porcentaje óptimo de sustitución de RCD en una mezcla nueva de concreto hidráulico reciclado?
- 5) ¿Brindaría este proceso un ahorro económico que justifique su implementación a nivel industrial y comercial?

## **2.4. OBJETIVOS**

Es preciso resaltar que las preguntas de investigación indican los objetivos, los cuales se formulan para responder las preguntas anteriormente formuladas. Los objetivos se dividen en dos, el objetivo general, que responde a la formulación del problema, y los objetivos específicos que responden a las preguntas de investigación.

### **2.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar el impacto que atribuye la implementación de RCD como un porcentaje del agregado grueso en una mezcla de concreto hidráulico reciclado mediante las normas de diseño ACI-211.1.

### **2.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Distinguir las propiedades físicas de peso volumétrico, gravedad específica, revenimiento y porcentaje de absorción de los escombros de concreto contra las de una grava común utilizada en una mezcla de concreto hidráulico.
- 2) Determinar el efecto en la resistencia a compresión y flexión de una mezcla de concreto por la sustitución de un porcentaje del agregado grueso con desperdicios de testigos, adoquines y escombros para su utilización en un pavimento de concreto hidráulico.
- 3) Demostrar si es posible sustituir por RCD solamente el tamaño máximo nominal de árido en una mezcla de concreto hidráulico para su utilización en un pavimento de concreto hidráulico.
- 4) De existir un beneficio, proponer el porcentaje óptimo de sustitución de RCD en una mezcla nueva de concreto hidráulico reciclado.

- 5) Determinar si este proceso brinda un ahorro económico en relación a un concreto normal que justifique su implementación a nivel industrial y comercial.

## **2.5. JUSTIFICACIÓN**

Según (Hernández J. , Rodríguez, Macht, & Ramos, 2008), "De una demolición resulta un promedio 900 kg por metro cuadrado de desechos, que son considerados residuos de manejo especial, por esta razón el reciclaje de concreto es una gran opción". El reciclaje de concreto surge como una solución económica y ambiental para la industria de la construcción. Además, es una alternativa viable para realizar proyectos ecológicos y eficientes. Con la reutilización de los RCD se garantiza un ahorro en los costos excesivos de transporte y acarreo del material.

En la actualidad Honduras carece de estudios sobre como ejecutar un proceso de reciclaje de concreto hidráulico. Dicho lo anterior, la elaboración de una investigación que compruebe que el uso de los RCD como un porcentaje del agregado grueso para una nueva mezcla de concreto hidráulico es viable, sin duda alguna será de gran beneficio e interés en el medio. Por otra parte, dándole un uso a los desperdicios de construcción, se estará mitigando la contaminación que estos producen. Adicionalmente, el reciclado de concreto hidráulico brinda un aporte económico en la producción de productos derivados que cumplen con los requerimientos de diseño. En último lugar, se reducirán los crecientes costos de acarreo que se genera al transportar los residuos.

### **2.5.1 LIMITANTES DEL PROYECTO**

Durante la realización de la investigación en cuestión, se presentaron ciertas limitaciones las cuales podrían afectar la calidad de los resultados obtenidos. Estas limitantes son las siguientes:

- 1) Por motivos de logística, no se pudo tener disponibilidad suficiente de la máquina trituradora de impacto, lo anterior tuvo como consecuencia que no se obtuvo la cantidad de material triturado proyectado para realizar la cantidad de testigos necesarios en un análisis de resultados estadísticos confiable (6 testigos por muestra). Se logró producir lo suficiente para al menos 2 testigos de compresión y 2 testigos de flexión por mezcla

realizada. Sin embargo, la norma ASTM C94-Sección 18.3 indica que se pueden realizar un mínimo de 2 testigos por muestra de concreto a evaluar.

- 2) Siendo este un trabajo realizado estrictamente para ofrecer un beneficio a la empresa CONETSA, se trabajó utilizando precios y datos provenientes de esta empresa. Dicho lo anterior, si este estudio quisiera aplicarse a otra empresa del rubro, debe adaptarse a la misma utilizando los precios y datos que correspondan.
- 3) Para la realización del análisis de costos, se contaba con limitados datos sobre precios y cantidades de materia prima de la empresa, esto por razones de confiabilidad. En base a lo anterior, se trabajó con datos conservadores proporcionados por el asesor temático.
- 4) El tiempo establecido para realizar la investigación no fue suficiente, un trabajo de este tipo requiere un plazo de tiempo más extenso para realizar múltiples iteraciones de pruebas y muestras con el objetivo de validar los datos y hacer referencia a mas estudios.

## CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

### 3.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Al realizar un estudio de investigación es importante conocer el pasado y presente de los temas que contribuyen a crear un contexto amplio de información. En este caso es preciso conocer esfuerzos anteriores en Honduras y el mundo que tenían como principal objetivo implementar materiales reciclados a una mezcla de concreto. De igual manera, se conocerán las problemáticas que requieren de una solución como esta.

#### 3.1.1 ANÁLISIS DEL MACROENTORNO

El análisis del macroentorno contempla la situación a nivel global de los temas pertinentes a la investigación.

##### 3.1.1.1 Puente de Manises-Paterna en Valencia, España.

Existen situaciones en las que se requiere ampliar, rehabilitar o mejorar una estructura y, por su valor patrimonial, se desea conservar el mayor volumen posible de los materiales empleados con el objetivo de ser implementados en una nueva obra. Según (Alaejos , Domingo , Lázaro , Monleon , & Sánchez , 2011) ,

En estos casos, cabe interpelarse sobre la posibilidad de su reutilización en un sentido mucho más amplio como puede ser el empleo, nuevamente, de sus materiales originales, a modo de una reconversión y transformación de la estructura, una metamorfosis en una nueva estructura con sus componentes patrimoniales, conservando y manteniendo la génesis de su antigua funcionalidad: soportar un estado de cargas que permita el tránsito óptimo de vehículos y personas. (p.02)

Dicho lo anterior, Ingenieros y diseñadores españoles evaluaron la posibilidad de reutilizar los desperdicios de concreto del antiguo puente sobre el río Turia en la carretera CV-371 (VV-6117), que constituye el acceso desde Manises y Paterna hacia la V-30 para la construcción de un nuevo puente atirantado con cables paralelos compuesto de 2 vanos asimétricos que dan solución a dos luces de 55 metros en el lado de Paterna y 90 metros hacia el lado de Manises. A continuación, se presenta la ilustración 1. Donde se observa una vista virtual del puente.





**Ilustración 1. Vistas virtuales del puente Manises-Paterna**

Fuente: (Alaejos , Domingo , Lázaro , Monleon , & Sánchez , 2011)

Con las vistas virtuales de la Ilustración 1, se entró en la etapa de planeación. Durante esta etapa se tenían dos opciones: Depositar los residuos del puente antiguo en vertederos, o reciclado de los mismos en la ejecución del nuevo puente. Monleón et al. (2011) sugiere que esta última opción brindaba diversas ventajas, como la mitigación del impacto ambiental al evitar el desecho de 1600m<sup>3</sup> de concreto de buena calidad como son los RCD y el impacto ecológico al reciclar materias primas que con un proceso adecuado pueden ser utilizadas.

El reciclado de materiales de construcción y demolición no es tan común en España, pero otros países europeos cuentan con su empleo habitualmente alcanzando volúmenes altos de materias primas recicladas.

El proyecto se inició con la identificación y caracterización de los elementos en la estructura antigua según datos disponibles. Los materiales se presentan en la siguiente tabla 1.

**Tabla 1. Características de los elementos del puente antiguo sobre el río Turia**

<b>ELEMENTO</b>	<b>RESISTENCIA</b>	<b>VOLUMEN</b>
<b>TRAMO REFORZADO Y AMPLIADO</b>		
Pilas	Desconocido	300 m <sup>3</sup>
Vigas en marco	Desconocido	240 m <sup>3</sup>
Ampliación de la losa	H-25	90 m <sup>3</sup>
Losa	Desconocido	130 m <sup>3</sup>
<b>TRAMO SUSTITUIDO</b>		
Vigas pretensadas	H-42,5	90 m <sup>3</sup>
Losa y dinteles	H-25	100 m <sup>3</sup>
Zunchado de pilas	H-20	-
Pilas	No se conoce	300 m <sup>3</sup>

Fuente: (Alaejos , Domingo , Lázaro , Monleon , & Sánchez , 2011)

Según se detalla en la Tabla 1, una parte de los elementos fueron sustituidos mientras que otra fue reforzada y ampliada. Para el adecuado procesamiento de los residuos del antiguo puente los Ingenieros y diseñadores fueron muy selectivos. Dichos residuos fueron procesados en una planta trituradora de impacto móvil que produce la mejor calidad de agregados, igualmente se implementó el uso de un sistema para la adecuada separación del acero de refuerzo procedente de las armaduras en la estructura vieja.

El resto del material, tanto el procedente del tramo del puente sustituido como del tramo reforzado, se utilizarán en el tramo de carretera de acceso al puente de aproximadamente 750 m. de longitud. Con esto se consigue el reciclado de la totalidad de los residuos generados en la demolición del puente. (Alaejos , Domingo , Lázaro , Monleon , & Sánchez , 2011, p. 10)

A continuación, se presenta la Tabla 2 que muestra los tipos y volúmenes de concreto del puente nuevo.

**Tabla 2. Tipos y volumen de concreto del puente Manises-Paterna.**

ELEMENTOS	RESISTENCIA	VOLUMEN	
		Hormigón	Árido reciclado
Hormigón en limpieza	HM-15/P/20/II a	87 m <sup>3</sup>	8,7 m <sup>3</sup>
Hormigón en cimentaciones	HA-25/B/20/II a	2.400 m <sup>3</sup>	240 m <sup>3</sup>
Hormigón en pantallas	HA-25/F/20/II a	2.640 m <sup>3</sup>	264 m <sup>3</sup>
Hormigón en estribos	HA-30/B/20/II b	240 m <sup>3</sup>	24 m <sup>3</sup>
Hormigón en pilono	HA-35/B/12/II b	580 m <sup>3</sup>	58 m <sup>3</sup>
Hormigón en imposta	HA-30/B/12/II b	43 m <sup>3</sup>	4 m <sup>3</sup>
		Vano 1-400 m <sup>3</sup>	40 m <sup>3</sup>
Hormigón en losa	HA-35/B/12/II b	Vano 2-900 m <sup>3</sup>	90 m <sup>3</sup>

Fuente: (Alaejos , Domingo , Lázaro , Monleon , & Sánchez , 2011)

Como se muestra en la Tabla 2, el árido reciclado se utilizó como un porcentaje del volumen total de agregados.

### 3.1.1.2 Infraestructuras viales con RCD en América, Europa y Asia

Otro ejemplo claro de los beneficios que brinda la reutilización de los residuos de concreto (RCD) en proyectos con fines no estructurales es que el mismo puede implementarse con éxito en la estructura de una carretera, puntualmente en la base y subbase. Igualmente, el reciclaje de concreto tiene aplicación en pistas de aeropuertos con resultados positivos.

Un ejemplo de ellos fueron los proyectos desarrollado en: aeropuerto de Atlanta y la carretera hacia Illinois. Otros casos específicos se dieron en 1977 cuando se usó el agregado como subbase del aeropuerto de Jacksonville, Florida y en 1980 en Ministerios de Transporte de Minnesota donde se reciclo 16 millas de concreto para el uso de infraestructuras viales. Aunque fue en Oklahoma, el primer Estado en reciclar los escombros de un proyecto. No obstante, poco a poco estos proyectos fueron siendo replicados en países como Japón, China y La Unión Europea en aplicaciones similares como carreteras y vías de aeropuerto, así como en estructuras básicas. (Bobadilla, 2012, p. 237)

Como podemos observar el uso de escombros es aplicable en proyectos de obras civiles de pequeña, mediana y gran escala.

### 3.1.1.3 RCD como agregado para producción de concreto estructural, Serbia.

La Unión Europea genera alrededor de 850 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición al año lo cual representa un 31% del total de residuos a nivel mundial (Fisher & Werge, 2009). Según el (FHWA, 2004):

El método más común de manejo de este material ha sido a través de su disposición en rellenos sanitarios. De esta manera, se crean enormes depósitos de residuos de construcción, lo que se convierte en un problema especial de contaminación del ambiente humano. Por esta razón, en los países desarrollados, se han implementado leyes para restringir este desperdicio: en forma de prohibiciones o impuestos especiales existentes para la creación de áreas de desperdicio. (p.5)

Por otro lado, la producción y demanda de concreto premezclado es creciente, lo cual tiene como consecuencia un alto consumo de agregado natural al ser el componente de más volumen en la dosificación (Malesev, Radonjanin, & Marinkovic, 2010).

Basándose en información experimental disponible se concluyó que las propiedades más importantes del concreto reciclado con RCD varían con respecto a la de un concreto común. Dicho lo anterior los cambios más notables son:

- 1) Incremento en el porcentaje de absorción de agua (Rahal , 2007).
- 2) Decremento en la densidad relativa Bulk (Sanchez de Juan & Gutierrez , 2004).
- 3) Incremento en la perdida por abrasión (Poon, Azhar , & Kou , 2003).

Adicionalmente se encontraron diferencias apoyadas en un estudio anterior como,

Incremento del aplastamiento y mayor cantidad de partículas de polvo. Cantidad incrementada de impurezas orgánicas si el concreto se mezcla con tierra durante la demolición de edificios. Posible contenido de sustancias químicamente dañinas, dependiendo de las condiciones de servicio en edificios de los que se obtiene la demolición y la trituración de áridos reciclados. (Taylor, Francis , & Hansen, 1992, p. 316)

En la realización de este estudio se variaron las cantidades y tipos de agregado grueso en la siguiente manera:

- 1) (R0) La primera mezcla de concreta tenía 100% de agregado grueso de río natural la cual sirvió como mezcla de control.
- 2) (R50) La segunda mezcla de concreto estaba compuesta por 50% de agregado grueso natural y 50% de agregado grueso reciclado proveniente de RCD.
- 3) (R100) La tercera mezcla de concreto tenía 100% de agregado grueso reciclado.

Como lo establecieron los Investigadores serbios autores del estudio (Malesev, Radonjanin, & Marinkovic, 2010) luego de escoger los porcentajes de implementación detallados anteriormente se seleccionaron las siguientes propiedades para realizar las pruebas:

trabajabilidad (prueba de asentamiento) inmediatamente después de la mezcla y 30 minutos después de la mezcla, densidad aparente de hormigón fresco, contenido de aire, densidad aparente de hormigón endurecido, Absorción de agua (a la edad de 28 días), resistencia al desgaste (a la edad de 28 días), resistencia a la compresión  $F'c$  (a la edad de 2, 7 y 28 días), resistencia a la rotura (a la edad de 28 días), resistencia a la flexión (a la edad de 28 días), módulo de elasticidad (a la edad de 28 días), contracción por secado (a la edad de 3, 4, 7, 14, 21 y 28 días), Enlace entre refuerzo acanalado y suave y hormigón. (p.10)

Noventa y nueve especímenes fueron hechos para probar las propiedades listadas de concreto endurecido.

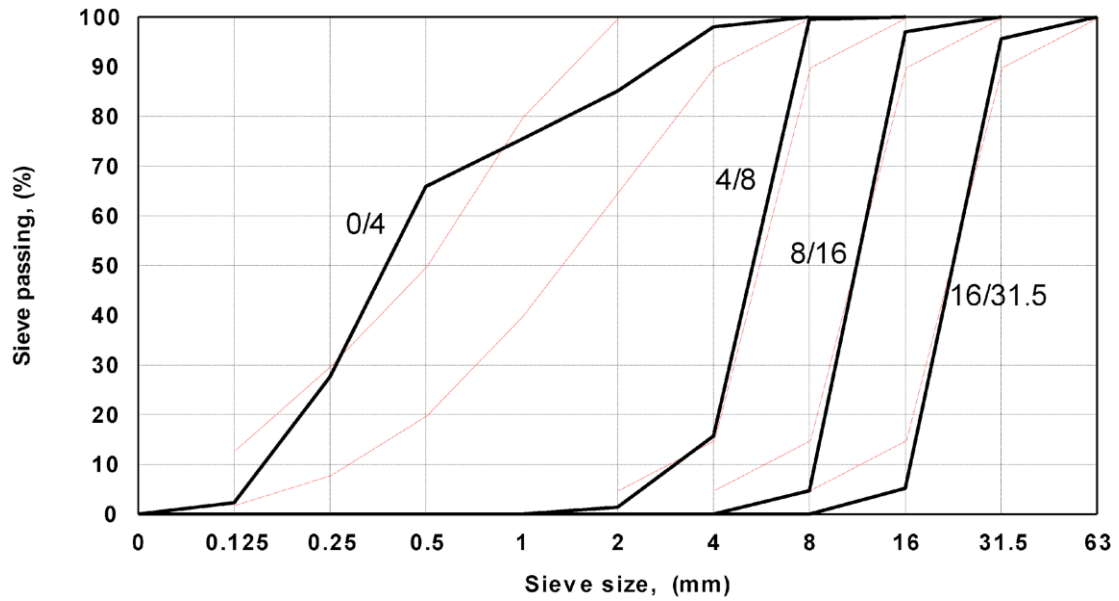
Teniendo las variables seleccionadas se procedió a mantener constantes las propiedades de trabajabilidad, densidad bulk del concreto fresco, contenido de aire, densidad bulk de concreto endurecido, absorción de agua, resistencia a la compresión y resistencia a la tracción. La ilustración 2. Muestra los agregados antes y después de ser procesados.



**Ilustración 2. Material reciclado antes y después de trituración en Serbia.**

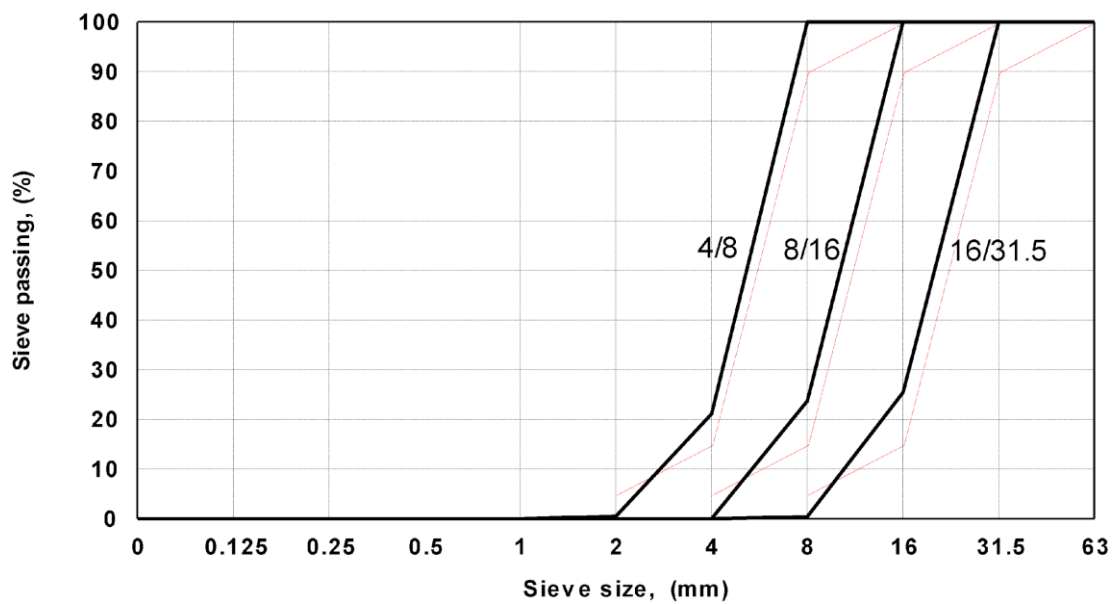
Fuente: (Malesev, Radonjanin, & Marinkovic, 2010)

Como se ve en la Ilustración 2, después del proceso de trituración, el material queda listo para utilizarse en una nueva mezcla. Seguidamente las Ilustraciones 3 y 4 muestran los resultados granulométricos de los agregados normal y proveniente de RCD.



**Ilustración 3. Curvas granulométricas de agregado natural en estudio serbio.**

Fuente: (Malesev, Radonjanin, & Marinkovic, 2010)



**Ilustración 4. Curvas granulométricas de RCD como agregado grueso en estudio serbio.**

Fuente: (Malesev, Radonjanin, & Marinkovic, 2010)

Con los resultados de las Ilustraciones 3 y 4 obtuvieron el diseño de cantidades en kg/m<sup>3</sup> mostrados en la tabla 3 para la correcta dosificación del concreto con los diferentes porcentajes de RCD.

**Tabla 3. Diseño de cantidades de materiales para concreto en estudio serbio.**

Mezcla de concreto	Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Agua Efectiva (kg/m <sup>3</sup> )	Agregado (kg/m <sup>3</sup> )	Agua adicional (kg/m <sup>3</sup> )	Relacion a/c efectiva	Relacion a/c total	Bulk densidad (kg/m <sup>3</sup> )
<b>R0</b>	350	180	1857	0	0.514	0.514	2,387
<b>R50</b>	350	180	1816	19	0.514	0.569	2,365
<b>R100</b>	350	180	1776	37	0.514	0.620	2,343

Fuente: (Malesev, Radonjanin, & Marinkovic, 2010)

Con las cantidades de materiales mostrados en la Tabla 3, se procedió a realizar el diseño de mezcla. Posteriormente a realizar el diseño se encontraron los valores de participación de agregado reciclado en los agregados naturales ilustrados a continuación en la Tabla 4.

**Tabla 4. Participación de RCD en agregados reciclados de Estudio Serbio**

Mezcla de concreto	Agregado natural de río				Agregado de RCD		
	0/4	4/8	8/16	16/32	4/8	8/16	16/32
R0	33	16	21	30	0	0	0
R50	33	8	10.5	15	6.5	7.5	19.5
R100	33	0	0	0	13	15	39

Fuente: (Malesev, Radonjanin, & Marinkovic, 2010)

Posteriormente se realizaron las pruebas de revenimiento para todas las mezclas de concreto diseñadas con y sin agregados reciclados obteniendo los siguientes resultados,

**Tabla 5. Resultados de revenimientos en estudio serbio.**

Mezcla	Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Total agua (kg/m <sup>3</sup> )	Agregados (kg/m <sup>3</sup> )	Relacion a/c	Agregado/cemento	Slump <sup>2</sup> (cm)	Slump <sup>3</sup> (cm)	Contenido de aire (%)	Bulk densidad (kg/m <sup>3</sup> )
R0	352	181	1866	0.514	5.306	16	10	1.5	2,399
R50	352	200	1826	0.568	5.188	14.5	8.5	1.4	2,378
R100	348	216	1765	0.620	5.074	11	9	1.3	2,329

Fuente: (Malesev, Radonjanin, & Marinkovic, 2010)

Adicionalmente se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de compresión,

**Tabla 6. Resultados de resistencia a compresión (Estudio Serbio)**

Concrete type	Concrete age (days)			Standard deviation (MPa)
	2	7	28	
R0 (MPa)	27.55	35.23	43.44	1.5769
R50 (MPa)	25.74	37.14	45.22	1.2089
R100 (MPa)	25.48	37.05	45.66	3.5016
R50/R0 (%)	93	105	104	
R100/R0 (%)	92	105	105	

Fuente: (Malesev, Radonjanin, & Marinkovic, 2010)

Los resultados de los cambios en las propiedades anteriormente establecidas como principales para el estudio también se analizaron a los 28 días de edad de los testigos.

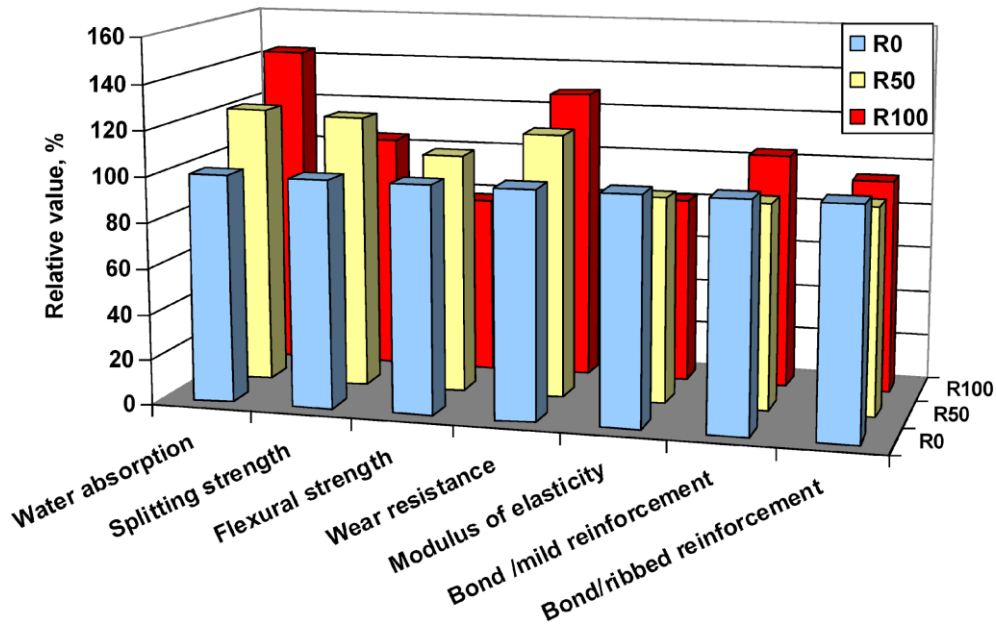
**Tabla 7. Resultados en propiedades del concreto en estudio serbio.**

Tipo de Concreto	R0	R50	R100
Absorción de agua, (%)	5.61	6.87	8.05
Resistencia a la tensión, (MPa)	2.66	3.20	2.78
Resistencia a la flexión, (MPa)	5.4	5.7	5.2
Abrasión, (cm <sup>3</sup> /50 cm)	13.40	15.58	17.18
Modulo de elasticidad (GPa)	35.55	32.25	29.10
Enlace entre refuerzo pasivo y hormigón., MPa	6.48	5.87	6.76
Enlace entre refuerzo activo y hormigón, MPa	8.22	7.50	7.75

Fuente: (Malesev, Radonjanin, & Marinkovic, 2010)

Finalmente se presenta la gráfica en la ilustración 5. con los resultados sobresalientes del estudio realizado en su totalidad.





**Ilustración 5. Valores Relativos R50/R0 y R100/R0 en propiedades de concreto endurecido.**

Fuente: (Malesev, Radonjanin, & Marinkovic, 2010)

Como se puede observar en la Ilustración 5, el concreto tipo R100 es el que tiene los mayores porcentajes de absorción y de resistencia al desgaste.

### 3.1.1.4 Estudio comparativo de los áridos reciclados de hormigón para subbases de carreteras en Córdoba, España.

De acuerdo con la investigación realizada previo al estudio de RCD como material para subbases se descubrió que "España produjo un total 37,5 millones de toneladas de RCD en el año 2006, 15 millones de los cuales (40%) fueron adecuadamente procesados en las plantas de tratamiento de RCD, y los restantes 22,5 millones se dispusieron en vertederos" (Jiménez , Agrela, Ayuso , & López , 2011, p. 290). Sin embargo, España ha sufrido una decadencia en su economía en los últimos años lo cual ha desmotivado la producción de RCD considerablemente.

El estudio realizado por los investigadores de la universidad de Córdoba tenía como propósito evaluar la viabilidad de implementar los residuos de construcción y demolición provenientes de 3 procesos diferentes como material para subbases de pavimentos. Posteriormente compararon los resultados del RCD con los de un agregado natural común utilizado en la construcción de las capas estructurales de un pavimento.

Los RCD utilizados en el estudio provenían de diversos materiales tales como: asfalto, cerámica, hormigón y mortero, áridos naturales, yeso e impurezas como madera y vidrio (Jiménez , Agrela, Ayuso , & López , 2011). Se realizó una separación de dichas impurezas a los RCD mediante trituración y molinos de impacto los cuales estaban equipados con magnetos para retirar el acero de refuerzo. A continuación, se presenta una tabla de composición de los áridos reciclados seleccionados para el estudio:

**Tabla 8. Composición de los áridos reciclados utilizados en estudio de Córdoba, España.**

Clase	Tipo	Peso (%)						
		Áridos reciclados de hormigón			Áridos reciclados mixtos			
		RCA-1	RCA-2	RCA-3	MD-1	MD-2	MD-3	MD-4
A	Asfalto	0	0.1	0.3	4.4	0.8	2.9	9.2
B	Cerámico	3.1	1.6	3.5	26.6	19	21	21
C	Hormigón y mortero	76	76.4	71.6	34.8	37.5	50.9	15.2
L	Partículas ligeras	0	0	0	0	0.1	0.1	0
U	Árido natural	20.8	23.6	24.6	33.4	41.4	22	52.7
X1	Tierra	0	0	0	0.2	0.2	2.1	0.3
X2	Otros	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1
X3	Yeso	0.1	0.1	0	0.4	0.9	1	1.5
	Total	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: (Jiménez , Agrela, Ayuso , & López , 2011)

Posteriormente, los ensayos realizados son los recomendados por el artículo 510 del Pliego de prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras de España, las cuales dictan los requisitos de los materiales a utilizar en subbases (Jiménez , Agrela, Ayuso , & López , 2011). Luego, en relación a la granulometría los agregados seleccionados debían cumplir con las normas granulométricas establecidas por el artículo 510 del PG-13 designados como ZA25 y ZA20.

La tabla 9 presenta los resultados obtenidos de los agregados reciclados en comparación con los agregados naturales de control.

**Tabla 9. Resultados de granulometría de los agregados reciclados**

	Granulometría (mm)								
	40	25	20	8	4	2	0.5	0.25	0.063
	Porcentaje que pasa (%)								
ZA25/GE2									
5	100	75-100	65-90	40-63	26-45	15-32	7 a 21	4 a 16	0-9
ZA20/GE2									
0	-	100	75-100	45-73	31-54	20-40	9 a 24	5 a 18	0-9
NA	100	96.3	91.3	65.3	47.3	35.3	17.7	12.3	7.3
RCA-1	100	92.3	85.7	56	39.7	30	15.6	10.7	5.4
RCA-2	100	88	80.1	52	35.9	26.1	12	8	4.1
RCA-3	100	75.2	67.1	46.8	31.3	23.7	14.7	11.5	7.7
MD-1	100	84.4	74.1	46.1	34.6	28.8	19.9	16.7	9.5
MD-2	100	86	76.9	45	31.3	24	12.6	8.7	4.1
MD-3	100	86.2	77	47.2	34.2	27.4	17.4	13.3	7.6
MD-4	100	94	92.01	66.8	49.1	40	25	18.9	3.1

Fuente: (Jiménez , Agrela, Ayuso , & López , 2011)

Adicionalmente la tabla 10 muestra la resolución de los ensayos según los límites detallados por la norma del artículo 510 del PG-13 para categorías de tráfico T3 y T4 que contempla 299 vehículos pesados por día.

**Tabla 10. Tabla de caracterización de agregados**

Parámetros	Resultados								Límites establecidos por la norma
	NA	RCA-1	RCA-2	RCA-3	MD-1	MD-2	MD-3	MD-4	
Plasticidad	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	No Plástico
Coefficiente de limpieza	0.86	0.34	0.28	0.3	0.84	1.9	1.53	3.7	< 2%
Equivalente de arena	41	51	62	50	39	44	58	35	T3 a T4: SE > 35
Coefficiente de Los Ángeles	20	34	34	33	36	41	40	31	T3 a T4: < 35%
Índice de Lajas	8	8.5	7.5	6.4	19	17	16	12	< 35%
Partículas trituradas	96%	70%	73%	78%	70%	69%	94%	69%	T3 a T4: > 50%
Compuestos de azufre									< 0.5% (a) < 1% (b)
totales	< 0.01	0.6	0.8	0.8	1	1.3	1.4	6	
CBR	152%	138%	97%	109%	68%	71%	94%	62%	> 20%
Hinchamientos tras 4 días de inundación	0.03%	0.01%	0.03%	0%	0.05%	0.06%	0%	0.01%	< 5%

Fuente: (Jiménez , Agrela, Ayuso , & López , 2011)

Basado en los resultados obtenidos de los ensayos y la tabla de caracterización (Jiménez , Agrela, Ayuso , & López , 2011) afirman que:

Los RCA estudiados cumplen con todas las especificaciones para ser usados en la construcción de subbases de carreteras para las categorías de tráfico T3 y T4. También, en los RCA el precribado de los RCD para eliminar la fracción fina no mejora sustancialmente los resultados con respecto al no precribado de los RCD (RCA-1 vs. RCA-2 y RCA-3). Sin embargo, el precribado de la fracción fina de los RCD en las plantas de reciclaje es fundamental para reducir el contenido de compuestos totales de azufre de los áridos reciclados mixtos y aumentar su calidad. (p.297)

Dicho lo anterior se concluyó que el árido natural presenta las mejores propiedades seguido de los áridos reciclados de hormigón y los mixtos. Igualmente, los áridos reciclados de hormigón cumplieron con los límites establecidos por el pliego de prescripciones Técnicas generales para obras de carreteras PG-13 para capas granulares estructurales.

### 3.1.2 ANÁLISIS DEL MICROENTORNO

#### 3.1.2.1 Islas de la Bahía, Honduras

Utila se destaca con la realización de la primera calle construida utilizando plástico reciclado en todo Honduras. El proyecto actualmente ha terminado su primera etapa, este proyecto fue impulsado por la Alcaldía municipal dirigida por Troy Bodden. Al respecto, Bodden explicó como ejecutan el proceso:

Hemos hecho la primera etapa de la primera calle hecha en Honduras de plástico reciclado. Es una forma nueva en la que estamos manejando, especialmente, las botellas de plástico, las trituramos y las usamos como un material aditivo como arena y grava que se le incorpora concreto. (Bodden, 2017).

Según la entrevista hecha a Bodden, afirma que los beneficios han sido de gran efecto.

“Tenemos una forma de cómo deshacernos del plástico”. (Bodden, 2017)

Como logro de su primera vez que la municipalidad de Utila tiene ingresos del gobierno central. Con esas transferencias recibidas están trabajando en diferentes proyectos.

“Ahorita estamos trabajando en la cancha de béisbol. Recibimos una donación de 30 mil dólares de una compañía de los Estados Unidos. Estamos haciendo con ZOLITUR una segunda etapa de una calle que va a cruzar la isla “. (Bodden, 2017)

A continuación, en la Ilustración 6 se verán las etapas del proyecto de calle en Útila.



**Ilustración 6. Etapas del proyecto de calle en Útila**

Fuente: Diario el Tiempo

Las etapas mostradas en la Ilustración 6, van desde la recolección de las botellas, la clasificación de estas, y el resultado final. Asimismo, dentro de esos planes, INSEP está haciendo una calle en la playa pública. Esta será de dos kilómetros de adoquines y también está en su segunda etapa. (Argueta, 2017)

### 3.1.2.2 Comunidades en Tegucigalpa construyen viviendas con materiales reciclados.

Comunidades de Tegucigalpa, la capital de Honduras, aprovechan los desechos de basura para construir viviendas y tanques de almacenamiento de agua en la colonia Campo Cielo. "Botellas de plástico, botes o latas sirven a esta comunidad de escasos para llevar a cabo este proyecto basada en el reciclaje de estos materiales." (Anónimo, 2006)

Con esta iniciativa de reciclaje, la comunidad ha solventado dos problemas a la vez: la retirada de basura que permanecía esparcida en los alrededores y la construcción de viviendas para los más desfavorecidos.

Antes de que los vecinos tomaran esta decisión, la basura se acumulaba en las cunetas, en solares en zonas verdes, lo que provocaba una gran contaminación medioambiental. "Ante la falta de recursos económicos, el grupo 'Mujeres Unidas' gestionó el proyecto de construcción de una vivienda y un tanque cisterna con estos desechos (Anónimo, 2006)



**Ilustración 7. Construcción de viviendas con botellas**

Fuente: Eco-Tec

El proyecto fue realizado gracias a los servicios de Eco-Tec, una empresa consultora especialista en la construcción de obras mediante la utilización de envases plásticos para que, además de efectuar las construcciones, se involucrara a los vecinos en riesgo de exclusión social.

Para construir una vivienda utilizaron unas 10,000 botellas, que previamente tuvieron que recoger y llenar de arena. Después, las paredes se recubren con materiales tradicionales como arena, cal y cemento para ocultar el material utilizado, aunque algunos albañiles optaron por dar un toque artístico a la construcción y dejaron a la vista los tapones de los envases o la base de los mismos. (Anónimo, 2006)

El uso de materiales reciclados representa un ahorro de más del 40% y las construcciones son de la misma calidad que cuando se utilizaron materiales convencionales, según señaló Eco-Tec.



**Ilustración 8. Viviendas terminadas**

“El consultor de Eco-Tec señaló que involucrar a los vecinos a este proyecto ha sido muy difícil y que el proyecto de reciclaje a nivel de barrios y colonias puede ser una de las soluciones que podrían desarrollar las autoridades municipales para solventar el problema de la basura en la capital”. (Froese, 2006)

### 3.1.3 ANÁLISIS INTERNO

Como siguiente objetivo se tiene mostrar temas de investigación realizados en UNITEC SPS con el fin de comprender y tomar como guía proyectos, que al igual que este, utilizan material de sustitución para los componentes de una mezcla de concreto hidráulico o asfáltico.

#### 3.1.3.1 Diseño de mezcla asfáltica en caliente modificada con polímeros reciclados.

Un estudio realizado en UNITEC por estudiantes de la facultad de Ingeniería Civil tuvo como principal objetivo evaluar el efecto que causa la implementación de polímeros reciclados disponibles en Honduras, como un porcentaje de bitumen en las propiedades físicas y mecánicas del concreto asfáltico.

La investigación inicia con la sustitución de distintos porcentajes de bitumen por hojuelas de PET, con esto disminuyendo el uso de combustibles fósiles y encontrándole un uso a residuos que generalmente serían calcinados contaminando el ambiente. La sustitución directa significaría un



gran ahorro en la mezcla del concreto asfáltico debido a que generalmente son largos tramos de carreteras construidas (Moran , Ramos , & Hawith , 2018, p. 5)

Se investigó un tipo de mezcla con 100% de incorporación de polímeros, lo que no resulta económico, pero brinda beneficios en sus propiedades mecánicas.

Los resultados de los ensayos realizados no cumplieron con los requerimientos necesarios para un pavimento flexible diseñado para tráfico pesado. Sin embargo, a pesar de los resultados que no lograron cumplir con lo establecido por las normas, la factibilidad de implementar PET en un concreto asfáltico es de alto interés, siempre y cuando su uso se dirige hacia un diseño con menores porcentajes de asfalto, menores esfuerzos y usos de menor degradación como ser ciclovías, parques, aceras o parqueos.

### 3.1.3.2 Análisis del comportamiento del concreto hidráulico con fibras de coco.

El estudio en cuestión decidió evaluar el efecto que genera el uso de las fibras provenientes del coco común de Honduras en el comportamiento mecánico del concreto hidráulico en tensión y compresión.

Con el fin de comprobar las hipótesis planteadas por los investigadores se inició el ensayo con un método cuantitativo, realizando un estudio experimental. En base al alcance exploratorio, se utilizaron técnicas como ensayos y encuestas de disponibilidad de la materia prima con el fin de recabar toda la información necesaria para evaluar la factibilidad del proyecto y alimentar el análisis estadístico.

Como lo afirman (Guardado , Umanzor , & Nuñez, 2017):

Los principales resultados obtenidos, nos dan a conocer que la fibra de coco aporta al concreto hidráulico un mejor comportamiento cuando son sometidos a flexión, teorías comprobadas al realizar múltiples ensayos de la resistencia a la flexión de todas las diferentes muestras, en las que se utilizaron porcentajes de fibra del 1%, 1.5% y 2% con una longitud de 2.5 cm, comparadas con una mezcla control para establecer una comparación de estas. (p.06)

En síntesis de lo expuesto, se puede concluir que la adición de fibras de coco si aportan beneficios a las propiedades mecánicas de una mezcla de concreto hidráulico. Es preciso observar que el aporte de la fibra de coco al concreto es un resultado del efecto que tienen las fibras en el concreto

endurecido, teniendo una participación parecida al acero de refuerzo cuando se someten fuerzas a flexión y tracción.

### 3.1.3.3 Estudio a cortante y compresión del concreto hidráulico con residuos de plástico.

Se analizó el comportamiento de 44 especímenes de concreto, de los cuales 36 son cilindros de 6" de base y 12" de altura para el ensayo de compresión bajo la normativa ASTM C39 y 8 vigas de 3" de base y 6" de altura para el ensayo a cortante. Los ensayos de compresión se realizaron a 7, 14 y 28 días. Se estudió el efecto de la resistencia del concreto con la relevación de la arena por el residuo de plástico en distintos porcentajes; 10, 20 y 30 %.

Posteriormente, los investigadores analizaron los datos obtenidos. Dicho lo anterior (David , Landa , & Moreno , 2018) concluyeron lo siguiente:

Los resultados indican que con 10% de residuos de plástico se cumple con la resistencia de diseño en un 5.15%, cabe mencionar que en comparación con la mezcla control se presenta una reducción en la resistencia del 6.28%. Se observó que a medida aumentaba el porcentaje de plástico, la mezcla de concreto se hacía más pastosa, por lo cual se pierde un poco la trabajabilidad. Con respecto al análisis de cortante los resultados indican que la adición del 10% de plástico no afectó el comportamiento a cortante pero las mezclas con 20% y 30% de plástico si presentaron una reducción en la resistencia a cortante. Se puede incorporar un 10% de plástico en el concreto hidráulico debido a que presenta un cumplimiento en la resistencia a la compresión, su comportamiento en cortante fue idéntico al de la mezcla control y se detectó una reducción en el peso unitario. (p.06)

Cuando se agrega el porcentaje indicado de plástico en una mezcla correctamente dosificada se puede observar que bajo las condiciones óptimas se obtienen resultados muy similares a los de la mezcla control.

## **3.2 TEORÍA DE SUSTENTO**

El objetivo de la teoría de sustento es contar con fuentes verdaderas que sirvan como base para cada una de las pruebas que deben realizarse para la investigación y así reducir la cantidad de errores y tener resultados mucho más precisos.

### 3.2.1 NORMA ASTM C-33 ESPECIFICACIÓN NORMALIZADA DE AGREGADOS PARA CONCRETO

Los agregados están constituidos por infinidad de partículas con una variedad ilimitada de tamaños y para poder dosificar correctamente el concreto es necesario conocer esta distribución por tamaños de los granos del agregado.

Esta especificación define los requisitos para granulometría y calidad de los agregados finos y gruesos (distinto de los agregados liviano o pesado), para utilizar en concreto.

Esta especificación también es utilizada en especificaciones de proyecto para definir la calidad del agregado, el tamaño nominal máximo del agregado, y otros requisitos de granulometría específicos. Los responsables de seleccionar la dosificación para la mezcla del concreto deben tener la responsabilidad de determinar la dosificación de agregado fino, grueso y la adición de tamaños de agregados para combinar si se requiere.

### 3.2.2 NORMA ASTM C-136 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

El análisis de tamices requiere una columna de mallas de alambre. La malla del tamiz superior tiene las aberturas más grandes; las que están por debajo de estas son de menor tamaño y así sucesivamente, con el tamaño de las aberturas decrecientes cada vez. La base de la columna es un molde redondo, que se conoce como fondo. Esta columna de tamices se coloca entonces dentro de un dispositivo de agitación que vibra, gira y da movimientos de rotación a la muestra. Lo anterior hace más fácil filtrar la muestra a través de la columna. El ensayo comienza cuando la muestra se añade a la criba superior y el dispositivo de agitación se enciende. Cuando el proceso se completa, los niveles de tamiz se analizan y los datos se recogen.

La norma ASTM C136 es un método que se utiliza principalmente por las empresas contratistas y por los que trabajan en la industria de la construcción como una forma de determinar la clasificación de los materiales antes de que se utilicen en los agregados industriales. Los datos recogidos por este método también son útiles para el desarrollo de relaciones con respecto a la porosidad y el embalaje. La norma ASTM C136 sólo puede determinar con precisión el material

hasta una finura de 75 micras (núm. 200). Algo más allá de este nivel tamiz sólo puede determinarse por una mezcla de la norma ASTM C136 y el método ASTM 117, que utiliza el lavado.

Algunas de las limitaciones del análisis granulométrico por tamizado son: no provee información de la forma del grano, las partículas de menor tamaño tienden a adherirse a las de mayor tamaño, el número de tamices es limitado mientras las partículas tienen un número de tamaños ilimitados y finalmente tiene significado solamente cuando se realiza a muestras representativas de agregado.

La tabla 11 mostrada continuación indica los porcentajes de material que se espera que pase por cada uno de los tamices.

**Tabla 11. Especificaciones granulométricas**

Agregado Grueso		Agregado Fino	
Tamiz	Porcentaje Pasado	Tamiz	Porcentaje Pasado
1 ½ "	100	3/8 "	100
1"	90-100	#4	90-100
½ "	25-60	#8	70-100
#4	0-20	#16	40-80
#8	0-6	#30	20-60
		#50	5-40
		#100	0-20
		#200	0-2

Fuente: Norma ASTM C-136

### 3.2.3 NORMA ASTM C-29 PESO VOLUMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

El peso volumétrico de un agregado se define como el cociente de la masa de los agregados que llenen un determinado recipiente por el volumen de este. El PV se calcula con la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 1. Peso volumétrico de los agregados**

$$PV = \frac{W}{V}$$

Fuente: Norma ASTM C-29

Los resultados que se obtienen de este ensayo son utilizados para el diseño de mezclas de concreto, en el cálculo de los vacíos del agregado y como índice de calidad para clasificar el agregado como regular, liviano o pesado.

Este ensayo se divide en peso volumétrico compactado por varilla y peso volumétrico suelto por asentamiento. De igual manera, las variaciones mencionadas se pueden realizar tanto en condición seca como húmeda brindando datos importantes para clasificar los agregados.

### 3.2.4 NORMA ASTM C-128 ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD, PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

Se entiende como el peso específico de una sustancia como el peso de esa sustancia, dividido por el peso de un volumen igual de agua destilada en condiciones normales. El peso específico es importante ya que sirve como un índice de calidad que se utiliza para separar el material bueno del malo. Adicionalmente, el peso específico indica cuanto espacio ocuparan las partículas de los agregados y sirve para calcular (junto con el PV) el porcentaje de huecos presentes en el agregado con la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 2. Porcentaje de huecos en un agregado**

$$\%Huecos = \frac{(62.4 \times \text{Peso específico}) - PV}{62.4 \times \text{Peso específico}} \times 100$$

Fuente: Norma ASTM C-128

El peso específico de una sustancia puede definirse como peso específico Bulk (GE) y peso específico bulk saturado con superficie seca (SSS) los cuales se definen como la relación del peso al aire de un volumen unitario de un material permeable, a una temperatura establecida, a el peso al aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada a una temperatura establecida. De la misma manera, se obtiene el peso específico aparente que se entiende como la relación del peso al aire de un volumen unitario de un material a una determinada temperatura, al peso al aire de igual densidad de un volumen de agua a una temperatura establecida.

Según el manual de la norma (ASTM): "La mayor parte de los agregados de peso normal tienen pesos específicos comprendidos entre 2.4 y 2.9" (p.09).

Las densidades de una muestra se calculan con las siguientes ecuaciones obtenidas de la norma ASTM C-128:

**Ecuación 3. Peso Específico Bulk**

$$GE\ Bulk = \frac{A}{B + 500 - C}$$

**Ecuación 4. Peso específico Bulk saturado con superficie seca**

$$GE\ sss = \frac{B}{B - C}$$

**Ecuación 5. Peso específico aparente**

$$GE\ Aparente = \frac{A}{A - C}$$

**Ecuación 6. Porcentaje de Absorción**

$$Abs = \frac{B-A}{A} \times 100$$

Donde:

A= Peso al aire, de la muestra seca en el horno, gr

B= Peso al aire, de la muestra saturada con superficie seca, gr

C= Peso de la muestra saturada en agua (peso del picnómetro más agua más material – peso del picnómetro más agua), gr

**3.2.5 NORMA ASTM C-131 RESISTENCIA AL DESGASTE POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.**

La prueba de los Ángeles es una medida del desgaste que sufren los agregados, resultante de la combinación de acciones que incluyen abrasión o desgaste, impacto y molienda en un cilindro rotatorio de acero, conteniendo en su interior un número de esferas que dependerán de la

degradación. El porcentaje de desgaste de un agregado está determinado por la siguiente ecuación según la norma ASTM C-131:

**Ecuación 7. Porcentaje de desgaste de un agregado**

$$\% \text{ de Desgaste} = \frac{\text{Peso original} - \text{Peso retenido \#12}}{\text{Peso original}} \times 100$$

En base al resultado obtenido con la ecuación 7, se puede clasificar según los siguientes parámetros:

**Tabla 12. Clasificación de agregado por desgaste**

Porcentaje de desgaste (%D)	Condición del material
Menor a 25%	Excelente
25% > 30%	Bueno
30% > 35%	No recomendable
Mayor a 35%	No debe utilizarse en concreto hidráulico

Fuente: Manual de laboratorio ASTM C-128

Esta prueba tiene el fin de determinar la dureza de los agregados por medio de la prueba de desgaste, para ver si dichos agregados pueden utilizarse en el diseño de una mezcla de concreto.

Los agregados que se pongan a prueba deber reunir cualidades tales como dureza, la cual se mide mediante el desgaste que presente.

**3.2.6 NORMA ACI-211.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO**

Determinar la combinación más práctica de los materiales con los que se cuenta para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de uso.

Como objetivo con este método de diseño de mezcla se debe obtener

- 1) Trabajabilidad en el concreto fresco
- 2) Resistencia, durabilidad, densidad y apariencia en el concreto endurecido.
- 3) Consideración del factor económico.

La normativa ACI 211.1 define los cálculos que se deben realizar para cumplir con los objetivos de la mezcla en 9 pasos tales como; elección de revenimiento, elección de tamaño máximo de

agregado, cálculo de agua de mezclado y el contenido de aire, selección de agua-cemento, cálculo del contenido de cemento, estimación del contenido de agregado grueso y fino, y ajuste por humedad del agregado.

Para realizar los pasos mencionados anteriormente, el ACI-211 proporciona diversas tablas que son utilizadas como referencia para un primer diseño de concreto hidráulico.

La Tabla 13 presenta las cantidades aproximadas para el correcto proporcionamiento de materiales para el diseño de mezclas de concreto de peso normal y denso tales como el agua y contenido de aire.

**Tabla 13. Cantidad de agua y contenido de aire para diferentes revenimientos y TMA.**

Revenimiento		Agua, kg/m <sup>3</sup> de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado indicados							
		9.5 mm (3/8")	12.5 mm (1/2")	19 mm (3/4")	25 mm (1")	37.5 mm (1 1/2")	50 mm (2")	75 mm (3")	150 mm (6")
(cm)	(pulg)	Concreto sin aire incluido							
2.5 a 5	1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113



7.5 a									
10	3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a									
17.5	6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido, %									
		3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto con aire incluido</b>									
2.5 a 5	1 a 2	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a									
10	3 a 4	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a									
17.5	6 a 7	216	205	197	184	174	166	154	-
Contenido promedio total de aire, para el nivel de exposición, %									
	Baja	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5xx	1xx
	Media	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5xx	3xx
Exposición	Extrema	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5xx	4xx

Fuente: ACI-211.1

Obtenido el valor de la tabla anterior se procede a la selección del valor para la adecuada relación agua-cemento de la mezcla con respecto al esfuerzo a compresión a 28 días esperado, dicho lo anterior se refiere a la tabla 14.

**Tabla 14. Valores de relación agua-cemento**

Esfuerzo a compresión a 28 días. Kg/cm <sup>2</sup>	Relación agua/cemento, por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido

420	0.41	-
350	0.48	0.4
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Posteriormente, utilizando el valor obtenido de la tabla 14 se obtiene el peso del cemento para el diseño de mezcla. Luego se estima el volumen de agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto relacionando diferentes módulos de finura del agregado fino con el tamaño máximo nominal del agregado utilizando la Tabla 15.

**Tabla 15. Estimación del contenido del agregado grueso**

Tamaño máximo nominal del agregado		Volumen de agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura del agregado fino			
		2.4	2.6	2.8	3
9.5 mm	3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5 mm	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
19 mm	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
25 mm	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 mm	1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
50 mm	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
75 mm	3"	0.82	0.8	0.78	0.76
150 mm	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI-211

Obtenido el volumen de agregado grueso se procede a calcular el volumen del agregado fino con un primer estimado del peso unitario de concreto en  $\text{kg/m}^3$  o por volumen absoluto.

**Tabla 16. Primer estimado del peso unitario de concreto.**

Tamaño máximo nominal del agregado		Primer estimado del peso unitario de concreto, $\text{kg/m}^3$	
		Concreto sin inclusión de aire	Concreto con aire incluido
9.5 mm	3/8"	2280	2200
12.5 mm	1/2"	2310	2230

19 mm	3/4"	2345	2275
25 mm	1"	2380	2290
37.5 mm	1 1/2"	2410	2350
50 mm	2"	2445	2345
75 mm	3"	2490	2405
150 mm	6"	2530	2435

Fuente: ACI-211

### 3.2.7 NORMA ASTM C-192 PREPARACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO

Esta norma refiere a los procedimientos para preparar y curar especímenes de concreto para ensayo en el laboratorio bajo un control preciso de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto que pueda ser consolidado por varillado o vibración. Esta norma provee los requisitos normalizados para la mezcla de concreto, la preparación y curado de especímenes para ensayo bajo condiciones de laboratorio.

El curado del concreto tiene como principal objetivo lograr un adecuado contenido de humedad y temperatura a edades tempranas, de manera que el hormigón pueda desarrollar las propiedades con las cuales fue diseñada la mezcla. Esta norma también es aplicada cuando se quiere evaluar diferentes mezclas y materiales, correlacionar con ensayos no destructivos y poseer provisión de testigos para investigaciones. Cabe mencionar que los laboratorios y laboratoristas que realizan esta practican deberían estar inspeccionados y acreditados.

### 3.2.8 NORMA ASTM C-39 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La mezcla de concreto se debe diseñar para lograr alcanzar la resistencia debida cumpliendo con los requisitos necesarios como lo son las propiedades mecánicas y la durabilidad, es por esta razón que esta norma tiene como objetivo determinar la resistencia a la compresión de testigos de concreto con pesos unitarios mayores a 800kg/m<sup>3</sup>.

Un resultado de prueba es el promedio de, por lo menos, dos pruebas de resistencia curadas de manera estándar o convencional elaboradas con la misma muestra de concreto y sometidas a ensayo a la misma edad. En la mayoría de los casos, los requerimientos de resistencia para el concreto se realizan a la edad de 28 días.

La resistencia del concreto se calcula dividiendo la máxima carga soportada por la probeta para producir la fractura entre el área promedio de la sección.

### 3.2.9 NORMA ASTM C-78 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO

Este ensayo se realiza con el objetivo de realizar el ensayo que determina la resistencia a flexión del concreto mediante el uso de la viga simple cargada en los tercios de la luz.

Los resultados se calculan y se reportan como el módulo de ruptura ( $f_r$ ). El esfuerzo determinado puede variar cuando hay diferencias en el tamaño del espécimen, la preparación, la condición de humedad y el curado. Los datos obtenidos por este ensayo son de gran importancia para determinar el cumplimiento de especificaciones o para utilizar como una base para las operaciones de dosificación, de mezclado y colocación.

El procedimiento por seguir consta de un espécimen de concreto con forma prismática, sin irregularidades, que se ha mantenido húmedo hasta la falla y que ha sido colocado de manera que la cara expuesta en el moldeo no esté en contacto con los dispositivos de carga. Este se centra con las cabezas de carga y los apoyos y se verifica que las cabezas de carga estén aplicadas en los puntos tercios de la viga. Finalmente, se lleva al espécimen de manera gradual hasta la falla, se registra la carga máxima y con ella se calcula el módulo de ruptura. Si la fractura se presenta en el tercio medio del claro el módulo se calcula con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{P \times L}{b \times d^2}$$

#### **Ecuación 8. Cálculo del módulo de ruptura con fractura en tercio medio**

Fuente: ASTM C-78

Donde:

R = Es el módulo de ruptura, en kPa (kgf/cm<sup>2</sup>).

P = Es la carga máxima aplicada, en N (kgf).

b = Es el ancho promedio del espécimen, en cm.

d = Es el peralte promedio del espécimen, en cm.

Si la ruptura se presenta fuera del tercio medio del claro, en no más del 5% de su longitud, se calcula el módulo de ruptura como sigue:

$$R = \frac{3 \times Pa}{b \times d^2}$$

### **Ecuación 9. Cálculo del módulo de ruptura con fractura fuera del tercio medio**

Fuente: ASTM C-78

Donde:

a= Es la distancia promedio entre la línea de fractura y el apoyo más cercano en la línea superficie de la viga en mm.

#### **3.2.10 NORMA ACI-555 REMOCIÓN Y REUTILIZACIÓN DE CONCRETO ENDURECIDO**

Este informe proporciona la información disponible sobre métodos para la adecuada obtención de residuos de concreto.

También se discute sobre la reutilización del concreto reciclado como agregado de concreto. El tipo, la clase de concreto y su localización dentro de una estructura afectan directamente a los métodos del retiro que se utilizarán. La selección de las herramientas y del equipo apropiados es crítica para un proyecto rentable y seguro del retiro de concreto.

#### **3.2.11 ALCANCE, VENTAJAS Y LIMITACIONES**

##### **3.211.1 Alcance**

Las normas ASTM y ACI son usadas por individuos, compañías y agencias en todo el mundo. Dichas normas son incorporadas en contratos y los científicos e ingenieros las aplican como un estándar de referencia en sus laboratorios y oficinas; los arquitectos y diseñadores las usan en sus planos; las agencias gubernamentales de todo el mundo hacen referencia a ellas en códigos, regulaciones y leyes; y muchos otros las consultan para obtener orientación sobre muchos temas.

### 3.2.12 Ventajas

La utilización de normas en el rubro de la construcción y en los laboratorios puede ser muy eficiente aplicando las normas ASTM y ACI para ensayos relacionados con concreto, agregados y sus derivados. El uso de estas normas responde con rapidez las necesidades inmediatas que puedan surgir y al mismo tiempo dar diagnósticos con una referencia estandarizada. No utilizar normas significa reinventar la rueda una y otra vez, y utilizar tiempo que no puede dedicarse a la investigación o las mejoras.

### 3.2.13 Limitaciones

Las normas, en su esencia, brindan muchos beneficios y dan la mejor referencia posible ante cualquier situación para evaluar un material. Sin embargo, la aplicabilidad de estas normas no tiene validez si los instrumentos, el laboratorio y los laboratoristas no están debidamente inspeccionados y calificados para realizar los ensayos. Las condiciones físicas en las que se realizan dichos ensayos y normas también afectan directamente los resultados obtenidos. Finalmente, la limitante principal es que las normas son una primera referencia, se recomienda que sean examinadas y analizadas por expertos o conocedores antes de ser utilizadas como un diseño o para tomar una decisión final en un proyecto de ingeniería.

## **3.3 MARCO CONCEPTUAL**

A continuación, se definen algunos de los términos y lenguaje técnico pertinente a la investigación para el entendimiento adecuado de los lectores de este estudio:

#### 1) Concreto Hidráulico

“Es un material semejante a la piedra que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, arena y grava u otro agregado, y agua; después, esta mezcla se endurece en formaletas con la forma y dimensiones deseadas ” (Nilson , 1999, p. 01).

#### 2) Cemento

“Un material cementante es aquel que tiene las propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados inertes y conformar una masa sólida de resistencia y durabilidad adecuadas” (Nilson , 1999, p. 28).

### 3) Agregado o Árido

“Conjunto de materiales de composición mineral, naturales o artificiales, generalmente inertes, usados en la construcción de obras civiles” (Gutierrez de Lopez, 2003).

### 4) Agregado Grueso o Grava

“Material retenido en el tamiz No. 4, con un tamaño entre 7.6 cm y 4.76 mm” (Gutierrez de Lopez, 2003).

### 5) Agregado Fino o Arena

“Material pasante de la malla No. 4 y retenido en la malla No. 200, con tamaños entre 4.76 mm y 74 Mieras (0.07 mm)” (Gutierrez de Lopez, 2003).

### 6) Granulometría

Como lo afirma (Gutierrez de Lopez, 2003):

La granulometría o gradación se refiere al tamaño de las partículas y al porcentaje o distribución de estas en una masa de agregado. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en hacer pasar una determinada cantidad del agregado a través de una serie de tamices standard, dispuestos de mayor a menor. (p.18)

### 7) Tamaño Máximo de árido (TMA)

“Se define como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad de la muestra, indica la dimensión de la partícula más grande que hay en la muestra” (Gutierrez de Lopez, 2003).

### 8) Tamaño Máximo Nominal (TMN)

“Se define como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquél cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. Indica el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de una masa de agregado” (Gutierrez de Lopez, 2003).

### 9) Peso Unitario

“Se define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan estas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido” (Gutierrez de Lopez, 2003).

#### 10) Relación Agua-Cemento

“La relación agua-cemento (A/C) es el factor más importante en la resistencia del concreto. Una determinada relación agua-cemento produce distintas resistencias de acuerdo con el tipo de agregado utilizado y al tipo de cemento” (Gutierrez de Lopez, 2003).

#### 11) Resistencia a la Compresión

“La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica más importante del concreto; se expresa en términos de esfuerzo en kg/cm<sup>2</sup> o en lb/pul<sup>2</sup>(psi), 1psi = 0.07 kg/cm<sup>2</sup> o en mega pascales” (Gutierrez de Lopez, 2003). En otras palabras, es la falla por aplastamiento que sufre el testigo de concreto.

#### 12) Resistencia a la Flexión

“La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada” (NRMCA).

#### 13) Módulo de Finura

Según (Gutierrez de Lopez, 2003) :

Es un valor que permite estimar el grosor o finura de un material; se define como la centésima parte del número obtenido al sumar los porcentajes retenidos acumulados en los siguientes tamices empleados al efectuar un análisis granulométrico: No. 100, 50, 30, 16, 8, 4, 3/8”, 3/4”, 1 1/2” y los tamices siguientes cuya relación de abertura sea 1 a 2. (p.19)

#### 14) Gravedad Específica

(Gutierrez de Lopez, 2003) afirma:

Se define como la relación de peso a volumen de una masa determinada. Pero como las partículas del agregado están compuestas de minerales y espacios o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua según la permeabilidad interna, es necesarios hacer diferenciación entre los distintos tipos de gravedad. (p.20)

#### 15) Dosificación



“La dosificación implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen el hormigón, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas, o bien, para obtener un acabado o pegado correctos. Generalmente expresado en gramos por metro (g/m)” (Anónimo, La enciclopedia libre, 2018).

#### 16) Trabajabilidad

Según (UNITEC, 2010) :

Es una propiedad importante para muchas aplicaciones del concreto. Aunque la trabajabilidad resulta difícil de evaluar, en esencia, es la facilidad con la cual pueden mezclarse los ingredientes y la mezcla resultante puede mejorarse, transportarse y colocarse con poca pérdida de homogeneidad, y su capacidad para seguir los detalles del molde.

#### 17) Revenimiento

“Se le llama revenimiento a la diferencia de altura que hay entre la parte superior del molde y la parte superior de la mezcla fresca, cuando ésta se ha asentado después de retirar el molde” (Universidad Centroamericana "Jose Simeon Cañas ").

#### 18) RCD (Residuos de Construcción y Demolición)

“Es cualquier sustancia u objeto que, cumpliendo la definición de “residuo” se genera en una obra de construcción y demolición” (CEDEX, 2014).

#### 19) Probetas Estándar

Como lo afirma (ARQHYS, 2012):

Son cilindros con una altura del doble del diámetro. Para el concreto con agregado de tamaño máximo no mayor de 2 pulgadas es tamaño normal del cilindro es de 6 por 12 pulgadas; para el concreto que contenga agregados de tamaño máximo hasta de 21.2 pulgadas se usa un cilindro de 8 por 16 pulgadas.

## **3.4 MARCO LEGAL**

### 3.4.1 LEY GENERAL DEL AMBIENTE

#### 3.4.1.1 Capítulo I

Artículo 3. Los recursos naturales no renovables deben aprovecharse de modo que se prevenga su agotamiento y la generación de efectos ambientales negativos en el entorno.

Los recursos naturales renovables deben ser aprovechados de acuerdo con sus funciones ecológicas, económicas y sociales en forma sostenible.

#### 3.4.1.2 Capítulo II

Artículo 9. Son objetivos específicos de la presente Ley:

- a) Propiciar un marco adecuado que permita orientar las actividades agropecuarias, forestales e industriales hacia formas de explotación compatibles con la conservación y uso racional y sostenible de los recursos naturales y la protección del ambiente en general;
- e) Promover la participación de los ciudadanos en las actividades relacionadas con la protección, conservación, restauración y manejo adecuado del ambiente y de los recursos naturales;
- f) Fomentar la educación e investigación ambiental para formar una conciencia ecológica en la población;

## **CAPITULO IV. METODOLOGÍA**

Para la investigación presente se planteó una problemática real, y esto facilita la identificación de las preguntas de investigación necesarias para poder justificar la misma. Tomándose como principal referencia el marco teórico, este proporciona fundamentos a la investigación, la cual seguidamente se desarrolla mediante una metodología apropiada al tema que ayudará a cumplir de manera óptima los objetivos antes presentados.

### **4.1 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES**

Como lo afirma (Hernández Sampieri, 2010):

Una variable es una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse. El concepto de variable se aplica a personas u otros seres vivos, objetos, hechos y fenómenos, los cuales adquieren diversos valores respecto de la variable referida. (p. 93)

El estudio cuenta con variables pluridimensionales, esto significa que toman información de tres o más características y su medida se limita a valores dentro de intervalos que se analizan posteriormente.

La Tabla 17. Describe la operacionalización de las variables dependientes e independientes para esta investigación con sus respectivos objetivos y preguntas de investigación.

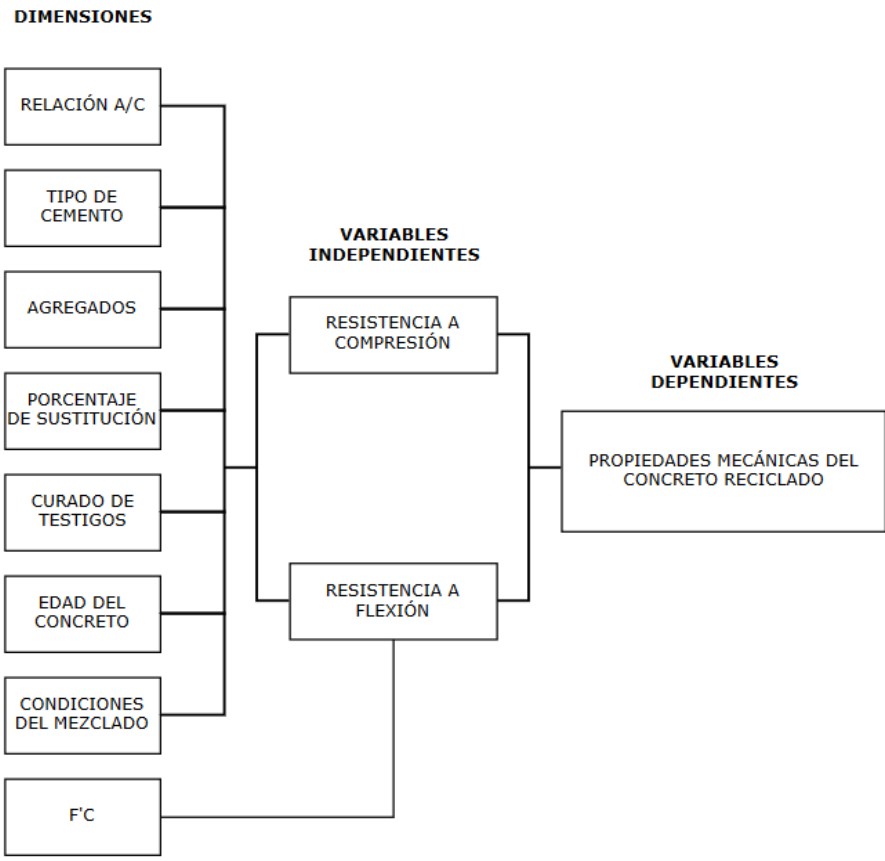
**Tabla 17. Operacionalización de las variables**

PROBLEMA	¿Es factible económica y constructivamente utilizar residuos de construcción y demolición (RCD) como un porcentaje de agregado grueso en una mezcla nueva de concreto hidráulico?			
OBJETIVO GENERAL	Analizar el impacto que atribuye la implementación de RCD como un porcentaje del agregado grueso en una mezcla de concreto hidráulico reciclado mediante las normas de diseño ACI-211.			
PREGUNTAS DE INVESTIGACION	¿Cómo difieren las propiedades físicas de peso volumétrico, granulometría, gravedad específica y porcentaje de absorción de los escombros con respecto a las de una grava común utilizada en una mezcla nueva de concreto hidráulico?	¿Cuál es el efecto en la resistencia a compresión y tracción de una mezcla de concreto al sustituir un porcentaje de agregado grueso por desperdicios de testigos, adoquines y escombros?	Obtenidos los resultados, ¿Cuál sería el porcentaje óptimo de sustitución de RCD en una mezcla nueva de concreto hidráulico reciclado?	De ser factible, ¿Brindaría este proceso un aporte económico que justifique su implementación a nivel industrial?
OBJETIVOS ESPECIFICOS	Distinguir las propiedades físicas de peso volumétrico, gravedad específica y porcentaje de absorción de los escombros de concreto contra las de una grava común utilizada en una mezcla de concreto hidráulico.	Determinar el efecto en la resistencia a compresión y tracción de una mezcla de concreto por la sustitución de un porcentaje del agregado grueso con desperdicios de testigos, adoquines y escombros.	De existir un beneficio, proponer el porcentaje óptimo de sustitución de RCD en una mezcla nueva de concreto hidráulico reciclado.	Determinar si este proceso brinda un aporte económico que justifique su implementación a nivel industrial.
VARIABLE INDEPENDIENTE	Resistencia a la Compresión		Resistencia a la Flexión	
VARIABLE DEPENDIENTE	Propiedades mecánicas y prefactibilidad del concreto reciclado			

Fuente: Propia

#### 4.1.1 Diagrama de las Variables de Operacionalización

En la Ilustración 9. Diagrama de Variables de Operacionalización se puede observar la correlación de las variables independientes y variables dependientes mostrando igualmente las dimensiones con las cuales estas serán medidas.



**Ilustración 9. Diagrama de Variables de Operacionalización**

Fuente: Propia

#### 4.1.2 TABLA DE OPERACIONALIZACIÓN

Seguidamente, la Tabla 18. describe de manera explícita la operacionalización de las variables, además de sus respectivas definiciones conceptuales y operacionales, dimensiones, e indicadores que dictan como medir las variables correctamente.

**Tabla 18. Tabla de Operacionalización**

Variable Independiente	Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Items	Unidades
Resistencia a la compresión (F'c)	La resistencia a la compresión es el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento.	La resistencia a la compresión esperada por el diseño dependera de la relacion agua-cemento, tipo de cemento, cantidad de agregados, curado, edad del concreto, cantidad de RCD implementado y condiciones del entorno.	Relacion a/c	Contenido de aire	¿Se utilizará un concreto con o sin aire incluido?	N/A
				Esfuerzo a compresion deseado	Obtener la resistencia a compresión del concreto.	kgf/cm2
			Tipo de cemento utilizado	Uso	¿El concreto será de uso general o estructural?	N/A
				Entorno	¿El concreto tendrá alta o baja exposición a la intemperie?	N/A
			Cantidad de agregados	Módulo de Finura	Obtener el módulo de finura de los agregados.	N/A
				TMNA	¿Cual es el tamaño maximo de arido presente en la granulometría?	mm
				Granulometria	Obtener la granulometría de la muestra representativa.	gr
				Gravedad Especifica	Obtener la gravedad específica de los agregados.	N/A
			Cantidad de árido sustituido por RCD	Peso Volumetrico	Obtener el peso volumétrico de los agregados.	kgs/m3
				Estudios previos	¿Existen estudios previos que determinen un porcentaje óptimo?	N/A
			Curado de los testigos	Porcentajes a investigar	¿Cuál es el porcentaje óptimo de RCD a sustituir?	%
				Exudación	Curar los testigos para evitar perdida de agua por exudación durante el fraguado.	N/A
			Edad del concreto	Calendarización	Conteo adecuado de los días que el testigo permanece en las pilas de curado.	Días
			Condiciones durante el mezclado	Humedad	¿Cuál es la humedad del entorno en el día de preparación de los testigos?	%
				Temperatura	¿Cuál fue la temperatura promedio durante el día de preparación de los testigos?	C°
				Estado del equipo	¿Estaban adecuadamente calibrados los equipos en los que se realizaron los ensayos?	N/A
Tiempo de mezclado	¿Se realizó el mezclado con los tiempos establecidos por la norma ASTM C-192?	Min.				

Variable Independiente	Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Items	Unidades
Resistencia a la Flexión (MR)	Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto. Se expresa como Módulo de rotura(MR) en libras por pulgada cuadrada(Psi).	La resistencia a la Flexión deseada se relaciona directamente con la resistencia a la compresión, Tamaño de los agregados, curado, edad del concreto, relación a/c y cantidad de RCD implementado. Esta variable se mide a través de la viga simple cargada a los tercios.	Resistencia a la compresión	Lectura de maquina de compresion	Relacionar la lectura del esfuerzo a compresión con el módulo de ruptura utilizando el factor k=10	PSI
			Tipo de cemento utilizado	Uso	¿El concreto será de uso general o estructural?	N/A
				Entorno	¿El concreto tendrá alta o baja exposición a la	N/A
			Tamaño y forma de los agregados	Módulo de Finura	Obtener el módulo de finura de los agregados.	N/A
				TMNA	¿Cuál es el tamaño máximo de arido presente en la granulometría?	mm
				Granulometria	Obtener la granulometría de la muestra representativa.	gr
				Gravedad Especifica	Obtener la gravedad específica de los agregados.	N/A
			Cantidad de árido sustituido por RCD	Estudios previos	¿Existen estudios previos que determinen un porcentaje óptimo?	N/A
					¿Cuál es el porcentaje óptimo de RCD a sustituir?	%
			Curado de los testigos	Exudación	Curar los testigos para evitar perdida de agua por exudación durante el fraguado.	N/A
			Edad del concreto	Calendarización	Conteo adecuado de los días que el testigo permanece en las pilas de curado.	Días
			Condiciones durante el mezclado	Humedad	¿Cuál es la humedad del entorno en el día de preparación de los testigos?	%
				Temperatura	¿Cuál fue la temperatura promedio durante el día de preparación de los testigos?	C°
				Estado del equipo	¿Estaban adecuadamente calibrados los equipos en los que se realizaron los ensayos?	N/A
Tiempo de mezclado	¿Se realizó el mezclado con los tiempos establecidos por la norma ASTM C-192?	Min.				

Fuente: Propia

#### 4.1.3 HIPÓTESIS

Según (Hernández Sampieri, 2010) las hipótesis de investigación se definen como: "preposiciones tentativas acerca de las posibles relaciones entre dos o más variables" (pp. 96-97). En otras palabras, las hipótesis nacen a partir del planteamiento del problema o de resultados de estudios

previos. Dicho lo anterior, existen dos tipos de hipótesis: la hipótesis nula y la hipótesis alterna o de investigación.

#### 4.1.3.1 Hipótesis de Investigación

A continuación, se presentan las distintas hipótesis formuladas para la investigación:

Hi<sub>1</sub>= La sustitución de un 35% del contenido de agregado grueso por RCD brinda una resistencia a la compresión ( $F'_{C(R35)}$ ) igual a la obtenida del concreto de la mezcla control ( $F'_{C_{mc2}}$ ).

$$F'_{C(R35)} = F'_{C_{mc2}}$$

Hi<sub>2</sub>= La sustitución de un 100% del contenido de agregado grueso por RCD brinda una resistencia a la compresión ( $F'_{C(R100)}$ ) igual a la obtenida del concreto de la mezcla control ( $F'_{C_{mc2}}$ ).

$$F'_{C(R100)} = F'_{C_{mc2}}$$

Hi<sub>3</sub>= La sustitución únicamente del tamaño máximo nominal de árido por RCD en una combinación de dos agregados brinda una resistencia a la compresión ( $F'_{C(TMA)}$ ) igual la obtenida de la mezcla control ( $F'_{C_{mc1}}$ ).

$$F'_{C(TMA)} = F'_{C_{mc1}}$$

Hi<sub>4</sub>= La sustitución de un 35% del contenido de agregado grueso por RCD brinda una resistencia a la flexión ( $MR_{(R35)}$ ) igual a la obtenida del concreto de la mezcla control ( $MR_{mc2}$ ).

$$MR_{(R35)} = MR_{mc2}$$

Hi<sub>5</sub>= La sustitución de un 100% del contenido de agregado grueso por RCD brinda una resistencia a la flexión ( $MR_{(R100)}$ ) igual a la obtenida del concreto de la mezcla control ( $MR_{mc2}$ ).

$$MR_{(R100)} = MR_{mc2}$$

Hi<sub>6</sub>= La sustitución únicamente del tamaño máximo nominal de árido por RCD en una combinación de dos agregados brinda una resistencia a la flexión ( $MR_{(TMA)}$ ) igual la obtenida de la mezcla control ( $MR_{mc1}$ ).

$$MR_{(TMA)} = MR_{mc1}$$



#### 4.1.3.2 Hipótesis nula

En base a las hipótesis de investigación, surgen las hipótesis nulas en las cuales se intenta refutar, rechazar o anular los resultados alternativos. Se presentan a continuación:

H<sub>0-1</sub>= La sustitución de un 35% del contenido de agregado grueso por RCD no brinda una resistencia a la compresión ( $F'_{C(R35)}$ ) igual a la obtenida del concreto de la mezcla control ( $F'_{C_{mc2}}$ ).

$$F'_{C(R35)} \neq F'_{C_{mc2}}$$

H<sub>0-2</sub>= La sustitución de un 100% del contenido de agregado grueso por RCD no brinda una resistencia a la compresión ( $F'_{C(R100)}$ ) igual a la obtenida del concreto de la mezcla control ( $F'_{C_{mc2}}$ ).

$$F'_{C(R100)} \neq F'_{C_{mc2}}$$

H<sub>0-3</sub>= La sustitución únicamente del tamaño máximo nominal de árido por RCD en una combinación de dos agregados no brinda una resistencia a la compresión ( $F'_{C_{RTMA}}$ ) igual la obtenida de la mezcla control ( $F'_{C_{mc1}}$ ).

$$F'_{C(RTMA)} \neq F'_{C_{mc1}}$$

H<sub>0-4</sub>= La sustitución de un 35% del contenido de agregado grueso por RCD no brinda una resistencia a la flexión ( $MR_{(R35)}$ ) igual a la obtenida del concreto de la mezcla control ( $MR_{mc2}$ ).

$$MR_{(R35)} \neq MR_{mc2}$$

H<sub>0-5</sub>= La sustitución de un 100% del contenido de agregado grueso por RCD no brinda una resistencia a la flexión ( $MR_{(R100)}$ ) igual a la obtenida del concreto de la mezcla control ( $MR_{mc2}$ ).

$$MR_{(R100)} \neq MR_{mc2}$$

H<sub>0-6</sub>= La sustitución únicamente del tamaño máximo nominal de árido por RCD en una combinación de dos agregados no brinda una resistencia a la flexión ( $MR_{RTMA}$ ) igual la obtenida de la mezcla control ( $MR_{MC1}$ ).

$$MR_{(RTMA)} \neq MR_{mc1}$$

## 4.2 ENFOQUE Y MÉTODOS

El enfoque escogido para la realización del estudio en cuestión es cuantitativo ya que los datos obtenidos serán de forma numérica; resistencia a la compresión ( $F'c$ ) y módulo de ruptura (MR). Los datos mencionados se utilizarán para comprobar las hipótesis establecidas. Esto se puede comprobar haciendo referencia a (Hernández Sampieri, 2010) quien afirma:

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos "brincar o eludir" pasos, el orden es riguroso, aunque, desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas(diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas y se establece una serie de conclusiones respecto a la hipótesis. (p. 20)

### 4.2.1 TIPO DE DISEÑO

La determinación del tipo de diseño es sumamente importante ya que da a conocer cuál será la estructura por seguir para la realización de la investigación con el objetivo de tener un proceso organizado y obtener resultados adecuados para su posterior análisis. A continuación, se presenta la Tabla 19, que esta presenta el tipo de diseño con sus respectivos elementos.

**Tabla 19. Tipo de Diseño**

<b>Enfoque</b>	Cuantitativo
<b>Estudio</b>	Experimental
<b>Tipo de Diseño</b>	Longitudinal
<b>Alcance</b>	Exploratorio
<b>Método</b>	Análisis Técnico
<b>Muestra</b>	No Probabilístico
<b>Técnicas</b>	Ensayos de Ruptura y diseño de mezcla

Fuente: Propia

#### 4.2.1.1 Tipo de Estudio

Se ha escogido el tipo de estudio experimental ya que se manipularán las variables independientes en base a sus dimensiones para obtener resultados que posteriormente serán analizados. Para la obtención de los datos se hará referencia a los ensayos según las normas ASTM

y ACI. Esto se comprueba según (Hernández Sampieri, 2010) : “Un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes dentro de una situación control” (p. 121).

#### 4.2.1.2 Tipo de Diseño

El tipo de diseño para investigación escogido es el longitudinal en base que su realización es con el interés de analizar los cambios presentes a través del tiempo en las variables de investigación o en relaciones entre estas y de esta manera recolectar datos a través del tiempo en periodos establecidos (7 y 28 días) para hacer inferencias respecto al cambio o consecuencias. Se escogió este tipo de diseño haciendo referencia a (Hernández Sampieri, 2010).

#### 4.2.1.3 Alcance

Se ha escogido como exploratorio el alcance del estudio a realizar en vista que la práctica de reciclar escombros de concreto en mezclas nuevas es un tema poco estudiado en Honduras. Esto limita el aprovechamiento de reutilización de estos materiales y al mismo tiempo contribuye a la mala disposición de estos. Se confirma lo anterior según (Hernández Sampieri, 2010) “Los estudios exploratorios se realizan con el objetivo de examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes ” (p. 79).

#### 4.2.1.4 Métodos

Los datos serán obtenidos mediante ensayos de laboratorio haciendo referencia al manual de UNITEC y las normas establecidas por el ASTM International. De esta manera los ensayos tendrán validez según estándares internacionales de medición.

#### 4.2.1.5 Muestra

Según (Hernández Sampieri, 2010):

En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra. Aquí el procedimiento no es mecánico ni con base en fórmulas de probabilidad. (p. 176).

En base a lo anterior, es preciso evaluar el estudio utilizando una muestra no probabilística ya que el 100% de la población (Cilindros y vigas) serán evaluados siempre y cuando cumplan con los requisitos de aceptación.

### 4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Una vez plasmado el tipo de diseño de la investigación, se continúa definiendo la población de estudio y el tamaño de la muestra a las cuales se les aplicaran los estudios para la obtención de resultados.

#### 4.3.1 POBLACIÓN

“Una población es el conjunto total de individuos, objetos o medidas que poseen algunas características comunes observables en un lugar y en un momento determinado” (Wigodski, 2010). La población de estudio en la investigación “Análisis de Las Propiedades Mecánicas y Estudio de Prefactibilidad del Concreto Reciclado” consiste en testigos cilíndricos de 30 cm de altura con un diámetro de 15 cm y vigas prismáticas simples de 6"x6"x24" (15.24cmx15.214cmx60.96cm).

#### 4.3.2 TAMAÑO DE LA MUESTRA

Según (Hernández Sampieri, 2010): “La muestra es un subgrupo de la población de interés sobre la cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse o delimitarse de antemano con precisión, este deberá ser representativo de dicha población” (p. 173). La muestra consiste en 36 probetas, de las cuales 18 son testigos cilíndricos y 18 son vigas simples. Se harán 4 cilindros y 4 vigas por diseño de mezcla de concreto con la finalidad de ensayar rupturas a los 7 y 28 días de edad. A continuación, se presentan las tablas 20 y 21 donde se observa un desglose detallado de la población.

**Tabla 20. Muestra de Testigos Cilíndricos**

Testigos Cilíndricos		
% Sustitucion	7 Días	28 Días

Control 1 (0%)	1	2
Control 2 (0%)	2	2
35%	2	2
100%	2	2
100% TMA	1	2
<b>TOTAL</b>	18	

Fuente: Propia

**Tabla 21. Muestra de Vigas Simples**

<b>Testigos Prismáticos</b>		
<b>% Sustitucion</b>	<b>7 Días</b>	<b>28 Días</b>
Control 1 (0%)	1	2
Control 2 (0%)	2	2
35%	2	2
100%	2	2
100% TMA	1	2
<b>TOTAL</b>	18	

Fuente: Propia

#### 4.3.2.1 Parámetros Muestrales

Serán válidos todos aquellos especímenes (cilindros y vigas) que hayan sido elaborados previamente en moldes según la norma ASTM C-192. Dichos especímenes tienen que ser correctamente curados en una pila y el día de ruptura ser cuidadosamente transportados para evitar inconsistencias.

#### 4.3.3 DESARROLLO DE NOMENCLATURA PARA MUESTRAS

Se realizó una nomenclatura dirigida para poder diferenciar las diferentes probetas. La nomenclatura consiste en cuatro partes, P, X, N, DD y SSS.

P es el tipo de probeta, siendo una C un testigo cilíndrico y una V una viga prismática simple. Luego, X es representada por las letras A, B, C y D, cada una representando el tipo de mezcla y su

granulometría. Seguidamente N, es el número de ruptura en el día DD. Finalmente, SSS, es representada por la numeración 000, 035 y 100, la cual indica el porcentaje de sustitución. Lo anterior se puede entender con la ilustración 10 presentada a continuación.



**Ilustración 10. Diagrama de nomenclatura de muestras**

Fuente: Propia

#### 4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Posterior a la definición de población y muestra, se da un seguimiento con la explicación de las técnicas e instrumentos a utilizar para la adecuada obtención de los datos.

##### 4.4.1 TÉCNICAS

###### 4.4.1.1 Peso Volumétrico

Inicialmente se deben tomar muestras de los agregados, grava, arena y material reciclado. Se procede a colocar las muestras de agregados sobre el suelo y homogenizar el material cambiándolo de posición. Seguidamente se realiza el cuarteado, se aplana la parte superior del cono y se procede a partir el material en 4 partes iguales. Finalmente, se coloca el material en recipientes y seguidamente se toman los pesos de cada uno.



**Ilustración 11. Ensayo de peso volumétrico**

Fuente: Propia

Al realizar el método de peso volumétrico compactado, se comienza llenando un recipiente con el material en 3 capas iguales dando 25 golpes por varillado a cada una de las capas. Para el método de la cuchara o pala se debe llenar hasta el borde del recipiente. En este método se debe realizar una corrección por humedad, la que consiste en meter dichas muestras al horno durante 24 horas a  $110^{\circ}\text{C}\pm 5$ . Finalmente, se debe tomar el peso seco de dichas muestras para poder determinar el peso volumétrico seco y el porcentaje de humedad de la muestra.

(Yepes, 2017) afirma:

La relación agua/cemento incide fuertemente en la resistencia a compresión simple del hormigón. Por tanto, cualquier error en la determinación de la cantidad de agua que interviene en el amasado va a modificar la calidad final del hormigón fabricado. Es importante tener en cuenta que la humedad aportada por los áridos se añade al peso del árido y se debe restar al peso del agua añadida a la mezcla.

Siguiendo los pasos anteriormente descritos se tiene la certeza de tener un dato validado.

#### 4.4.1.2 Granulometría

Para todo diseño de mezcla de concreto, sea hidráulico o asfáltico, se debe contar con una granulometría que cumpla con todos los pasos y normas establecidas. (Cañas, 2009) refiere que

el análisis granulométrico de los agregados son el proceso manual o mecánico por medio del que se hace una separación de las partículas de agregados según su tamaño.

El procedimiento es el mismo para todos los agregados. Primero se realiza el cuarteado de los agregados y seguidamente se obtienen las muestras de suelo y se pesan. Luego, se debe verter la muestra sobre los tamices. Se debe realizar el tamizado de los materiales ya sea mecánica o manualmente siendo ese el caso del proyecto presente. Al terminar el proceso de tamizado, debe recuperarse el material retenido en cada tamiz. Finalmente, se debe pesar el material retenido en cada tamiz.



**Ilustración 12. Ensayo de granulometría**

Fuente: Propia

#### 4.4.1.3 Gravedad Específica

Según (Gambhir, 2014)

La gravedad específica y la absorción de agua de los agregados son propiedades importantes que se requieren para el diseño de concreto y mezclas bituminosas. La gravedad específica de un sólido es la relación de su masa a la de un volumen igual de agua destilada a una temperatura específica.

##### Agregado Grueso

Se debe cuartear el material de agregado grueso y obtener aproximadamente 2000gr de muestra.

Seguidamente, lavar la muestra y secar en horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ . Se debe enfriar la muestra y



sumergirla durante 24 horas reposando en agua a temperatura ambiente. Luego, se debe sacar las muestras del agua y tomar 1000gr del material saturado. Esta muestra debe secarse superficialmente con una tela absorbente. En continuación a esta prueba, es de suma importancia pesar la muestra en condición saturada con superficie seca. La muestra se sumerge en agua y se determina su peso. Finalmente, se coloca el agregado en una bandeja y se deja en el horno durante 24 horas para registrar su peso seco.

#### Agregado Fino

De la misma manera, se debe iniciar realizando el cuarteado, con la única diferencia que se toman aproximadamente 1000 gr de muestra. Posteriormente, se debe lavar la muestra y secarla en el horno a temperatura constante de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ . Enfriar la muestra y sumergirla durante 24 horas en agua. Seguidamente debe eliminar el exceso de agua y extender la muestra en una superficie no absorbente. Desarrollar la revisión debida colocando el material dentro del cono truncado y dar 25 golpes con el apisonador. En caso de mantener la forma del molde al retirar el cono, esta muestra debe mantenerse más tiempo en secado. De lo contrario, esta muestra está en condición de superficie seca. Al pesar el picnómetro con agua hasta marca de calibración, proceder a introducir 500 gr de material en el picnómetro. Es importante mover el picnómetro agitándolo para eliminar las burbujas de aire. Luego, determinar el peso total del picnómetro más la muestra junto con el agua. Finalmente, sacar el agregado fino del picnómetro y secar a temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  y luego enfriar para obtener peso seco de la muestra.



**Ilustración 13. Ensayo de peso específico**

Fuente: Propia

#### 4.4.1.4 Resistencia al Desgaste por máquina de los ángeles

La prueba de los Ángeles es una medida del desgaste que sufren los agregados, resultante de la combinación de acciones que incluyen abrasión o desgaste, impacto y molienda en un cilindro rotatorio de acero, conteniendo en su interior un número de esferas que dependerán de la degradación.

El propósito de la Máquina de Los Ángeles es determinar la resistencia de materiales pétreos según el impacto y abrasión que producen las bolas de acero de tamaño estándar sobre la muestra de material con características granulométricas específicas y finalmente se obtiene como resultado la pérdida de material con respecto a su peso inicial. (Hernández, Rodríguez, Macht, & Ramos, 2008).

Como primer paso, se toma una muestra representativa del agregado, se tamiza y se determina su gradación y el número de esferas a utilizar para la prueba. Luego se debe lavar el material y secar al horno a 105-110 °C hasta que este alcance un peso constante, siendo este el peso original de la muestra. Posterior, se coloca la muestra de prueba en la Máquina de Los Ángeles haciéndola girar en el cilindro con una velocidad de 30.33 rpm.



**Ilustración 14. Máquina para prueba de Desgaste de los Ángeles**

Fuente: Propia

Después de cumplir el número necesario de vueltas, se descarga el material de la máquina y se tamiza por el #12. El material que se encuentra retenido se lava y se seca al horno hasta que se

logre obtener un peso constante. Este se tamiza nuevamente en el tamiz #12 y se pesa el retenido. A este se le conoce como peso retenido en el tamiz #12 y este simboliza el grado de desgaste como pérdida de material.



**Ilustración 15. Obtención de material en tamiz 12 para desgaste**

Fuente: Propia

Finalmente se compara el resultado de la ecuación 10 con la tabla 22 y se concluye si el material es excelente, bueno, no recomendable o no debe utilizarse.

$$\text{Porcentaje de desgaste} = \frac{\text{Peso original de muestra} - \text{Peso retenido en tamiz \#12}}{\text{Peso Original de muestra}} \times 100$$

**Ecuación 10. Porcentaje de desgaste de los agregados**

Fuente: ASTM C131

<p>Si el agregado tiene un desgaste de:          %D menor de 25 el material es excelente          %D entre 25 y 30 el material es bueno          %D entre 30 y 35 el material no es recomendable          %D mayor de 35 el material no debe utilizarse          en el diseño de concreto hidráulico.</p>
---

**Tabla 22. Parámetros para aceptación de los agregados**

Fuente: ASTM C131

#### 4.4.1.5 Diseño de mezclas de concreto

Según (Kosmatka, 2004):

La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado y de la unión entre los dos. En un concreto adecuadamente confeccionado, cada y toda partícula de agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan totalmente con pasta.

Como objetivo principal se tiene lograr un diseño de combinación de materiales con los que se dispone de manera más práctica para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento. Como primer paso se debe de tomar la elección de un revenimiento. Seguidamente, se debe tomar el tamaño máximo de agregado y junto con eso se realiza el cálculo de agua para el mezclado. Junto con esos datos obtenidos, se debe seleccionar la relación agua cemento según lo indica la tabla. Posteriormente, calcular el contenido de cemento, de agregado grueso y de agregado fino. Al obtener las cantidades de cada material se desarrolla el ajuste o corrección por humedad.



**Ilustración 16. Mezcla de concreto**

Fuente: Propia

#### 4.4.1.6 Elaboración de concreto, probetas cilíndricas y prismáticas para ensayos

Se comienza este procedimiento pesando la cantidad de cada material a utilizar para la mezcla de concreto. Seguidamente, en este orden se deben añadir estos materiales a la mezcladora: una pequeña cantidad de agua, la mitad de agregado grueso, cantidad total de agregado fino, cantidad total de cemento, la mitad restante de agregado grueso y el resto del agua. Al estar todos los materiales juntos, se mantienen oscilando aproximadamente 2 minutos en la mezcladora. Una vez el concreto está batido, volcar sobre una plataforma metálica y realizar un ligero mezclado manualmente. Realizar la prueba respectiva de revenimiento con el Cono de Abraham. Posterior a esto, aceitar los moldes para fundir los cilindros y vigas de prueba. Este procedimiento consiste en llenar cada molde en tres capas, compactando por varillado cada una de ellas con 25 golpes penetrando el material, y dando 3 golpes en cada uno de los 4 lados del molde. Se enrasa la superficie y se deja reposar por 18 horas antes de desmoldar. Como paso final, colocar los testigos en agua los días necesarios hasta el día de prueba a compresión y flexión.



**Ilustración 17. Elaboración de probetas cilíndricas**

Fuente: Propia





**Ilustración 18. Elaboración de probetas prismáticas**

Fuente: Propia

#### 4.4.1.7 Resistencia a la compresión de cilindros

La obtención del dato de la resistencia a la compresión de los cilindros es uno de los objetivos para verificar que la cantidad de materiales de la mezcla de diseño fue la adecuada para la resistencia deseada de acuerdo con la normativa ACI 211.1.

(Blamur, 2011) afirma: "La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad. Dentro de una estructura convencional de concreto, la forma de expresarla es en términos de esfuerzo ".

Como punto de inicio, los cilindros que se aceptan para pruebas deben tener un tamaño de 6 x 12 pulgadas (150 x 300 mm) o 4 x 8 pulgadas (100 x 200 mm). Con el fin de conseguir una distribución uniforme de la carga, generalmente los cilindros se cabecean con mortero de azufre de acuerdo con la norma ASTM C 617, o con almohadillas de neopreno, según la norma ASTM C 1231. Las almohadillas se deben sustituir si presentan desgaste excesivo. No se debe permitir que los cilindros se sequen antes de la prueba. También, el diámetro del cilindro se debe medir en dos sitios de ángulos rectos entre sí a media altura del cilindro y deben promediarse para calcular el área de la sección. Si los dos diámetros medidos difieren en más de 2%, no se debe someter a prueba el cilindro. Los cilindros se deben centrar en la máquina de ensayo de compresión y estos cargarlos hasta completar la ruptura. Como último paso, se debe anotar el tipo de ruptura. Como

conclusión, la resistencia del concreto se calcula dividiendo la máxima carga soportada por el cilindro para producir la fractura entre el área promedio de la sección.

#### 4.4.1.8 Resistencia a flexión en vigas

La resistencia a flexión o el módulo de ruptura (rotura) se usa en el diseño de pavimentos u otras losas sobre el terreno. Se debe utilizar un dispositivo capaz de aplicar cargas en los tercios del claro de prueba, de tal modo que las fuerzas sean perpendiculares a las caras horizontales de la viga y se distribuyan y apliquen uniformemente en todo lo ancho. Este dispositivo debe ser capaz de mantener fija la distancia entre los puntos de carga y los puntos de apoyo del espécimen con una tolerancia de  $\pm 2$  mm; además, las reacciones deben ser paralelas a la dirección de las fuerzas aplicadas durante el tiempo que dure la prueba. Cada muestra debe consistir en cuando menos dos especímenes de una misma revoltura que se prueban a la edad de proyecto. La distancia entre apoyos debe ser de tres veces el peralte de la viga con una tolerancia de 2%. Esta distancia debe ser marcada en las paredes de la viga antes del ensayo. Cabe decir que las caras laterales del espécimen deben estar en ángulo recto con las caras horizontales. Los bloques de aplicación de carga se ponen en contacto con la superficie del espécimen en los puntos tercios entre los apoyos. Se debe tener contacto total entre la aplicación de la carga y los bloques de apoyo con la superficie del espécimen. Por último, según (IMCYC, 2008) "La carga se debe aplicar a una velocidad uniforme, tal que el aumento de esfuerzo de las fibras extremas no exceda de 980 kPa/min(10 kgf/cm<sup>2</sup> por min), permitiéndose velocidades mayores antes del 50% de la carga estimada de ruptura." (pág. 6).

#### 4.4.2 INSTRUMENTOS

Los ensayos de laboratorio tienen base en normas, las cuales establecen los instrumentos adecuados para su realización. Lo anterior con el objetivo de mantener un estándar a nivel internacional y que de esa manera los datos tengan validez para estudios posteriores en cualquier país que aplique estas normas. Los instrumentos utilizados se enlistan a continuación...

- 1) Balanza: Instrumento utilizado para pesar los agregados y los respectivos recipientes.
- 2) Horno: Equipo que mantiene objetos dentro de él a una temperatura constante. Este utilizó para secar la muestra del material.

- 3) Pala: Instrumento que se utilizó para mover y transportar los agregados.
- 4) Cucharón: Herramienta de mano usada para tomar muestras de calibre más pequeño, como la arena.
- 5) Varilla de compactación: Barra sólida de acero de 16mm de diámetro, con uno o ambos extremos redondeados de forma semiesférica.
- 6) Taras: Contenedores metálicos que se utilizaron para contener las muestras de los agregados para ser llevadas al horno.
- 7) Tamices: Seleccionados de acuerdo con las especificaciones del material que va a ser ensayado.
- 8) Cepillo Metálico: Se utiliza para empujar las partículas de suelo que quedan entre los espacios de los tamices.
- 9) Brocha: Se utiliza para empujar las partículas de suelo que quedan entre los espacios de los tamices, especialmente tamices con malla fina.
- 10) Canasta: Recipiente cilíndrico, en el cual se sumerge la muestra del agregado grueso.
- 11) Picnómetro: Frasco con un cierre sellado de vidrio que dispone de un tapón provisto de un finísimo capilar.
- 12) Mezcladora: Utilizado para batir la muestra del mortero junto al agregado fino.
- 13) Cuchara de albañil o espátula: Herramienta usada en albañilería formada por una lámina metálica de forma triangular, sujeta por un mango de madera que se emplea para aplicar y manejar el mortero y la argamasa.
- 14) Bandeja: Recipiente que sirve para verter el material.
- 15) Molde para cilindros de concreto: Material metálico en forma de cilindro para verter la mezcla de concreto y así amoldarlo a sus dimensiones.
- 16) Cinta Métrica: Es un instrumento de medida que consiste en una cinta flexible graduada y se puede enrollar, haciendo que el transporte sea más fácil. También se pueden medir líneas y superficies curvas.
- 17) Cono de Abrahms: Cono truncado utilizado para prueba de revenimiento.
- 18) Máquina universal de compresión: La máquina consiste en dos partes esenciales: Una estructura superior y una inferior. En la estructura superior se realizan las diferentes pruebas



y se encuentra el reloj para observar la carga aplicada, mientras que la estructura inferior se encarga de soportar el peso de la maquina (peso muerto) y servir de alojamiento para los distintos aditamentos que se utilizan en las pruebas, las cuales se realizan gracias a la fuerza generada por un gato hidráulico de operación manual con la capacidad suficiente para desarrollar las pruebas.

- 19) Máquina para ensayos de flexión: Se utiliza para realizar ensayos de flexión en 3 o en 4 puntos. Se distingue principalmente por sus apoyos oscilantes regulables y su cilindro hidráulico superior.
- 20) Máquina de los Ángeles: Consiste en un cilindro hueco, de acero, con una longitud interior de 508 (+-5mm) y un diámetro, también interior, de 711 (+-5mm).
- 21) Trituradora: Especialmente diseñada para disminuir el tamaño de los objetos mediante el uso de la fuerza, para romper y reducir el objeto en una serie de piezas de volumen más pequeñas o compactas.

Adicionalmente, se utilizaron formatos de EXCEL para el analizar los datos de granulometría, peso volumétrico, gravedad específica, diseño de mezcla y proporciones de esta.



**ET ERNA, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO**

Agregado : ..... Ubicación : Trituradora LAB-FOR-006  
 Ver. 2  
 Fecha : ..... Hora : .....

DETERMINACION DE MATERIAL MAS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)			
Peso muestra seca sin lavar (grs)	Peso muestra seca lavada (grs)	Pérdida por la vado (grs)	Material más fino que Tamiz # 200 (%)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Tamiz	Peso Retenido Individual (grs)	Material Retenido (%)	% retenido acumulado	% Pase	Parámetro
2	0.0	0.00	0.00	100.00	100 A 100
1½	0.0	0.00	0.00	100.00	90 A 100
1	0.0	0.00	0.00	100.00	20 A 55
¾	0.0	0.00	0.00	100.00	0 A 15
½	0.0	0.00	0.00	100.00	
3/8	0.0	0.00	0.00	100.00	0 A 5
# 4	0.0	0.00	0.00	100.00	
# 8	0.0	0.00	0.00	100.00	
# 16	0.0	0.00	0.00	100.00	
# 30	0.0	0.00	0.00	100.00	
# 50	0.0	0.00	0.00	100.00	
# 100	0.0	0.00	0.00	100.00	
Fondo	1.0	100.00	100.00	0.00	
Totales =	1.0	MF =	0.00		

RESULTADOS DE COLORIMETRÍA (ASTM C-40)				
Color 1	Color 2	Color 3	Color 4	Color 5

Observaciones : .....

Elaborado por ..... Revisado y aprobado por .....

**Ilustración 19. Formato para análisis granulométrico**

Fuente: ETERNA S.A de C.V



**ET ER N A, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos**

LAB-FOR-008  
 Versión 2

Procedencia de la Muestra : Trituradora Fecha : 7-nov-18  
 Uso Propuesto del Material : Concreto Agregado : Grava 1 1/2" c / 3/4"

Nº	DESCRIPCIÓN	CALCULO	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	Promedio
1	Peso de Recipiente		grs	1019	1019	
2	Peso de Recipiente + Muestra Saturada con Superficie Seca en Aire	1 + 3	grs	4468	4609	
3	Peso Material en condición Saturada Superficie Seca en aire, $W_{ms}$		grs	3449	3590	
4	Peso de Recipiente suspendido en agua		grs	886	886	
5	Peso de recipiente y material suspendido en agua en condición Saturada Superficie Seca		grs	3064	3144	
6	Peso de material saturado suspendido en agua, $W_{ma}$	5 - 4	grs	2178	2258	
7	Peso de Recipiente + Material seco a peso constante	8 + 1	grs	4426	4560	
8	Peso de Material seco a peso constante, $W_o$		grs	3407	3541	
9	Peso Especifico (densidad relativa) de material seco, $G_s$	$8 / (3 - 6)$		2.681	2.658	
10	Peso Especifico (densidad relativa) de material saturado superficie seca, $G_{ms}$	$3 / (3 - 6)$		2.714	2.695	2.704
11	Peso especifico ( densidad relativa ) aparente de material, $G_{so}$	$8 / (8 - 6)$		2.772	2.760	
12	Absorción de material, $Ab_s$	$\frac{(3 - 8) / 8}{+100}$	%	1.233	1.304	1.308
				Peso Especifico $G_{ms}$ promedio :		2.704
				% de Absorción Promedio :		1.308
Observaciones:						

Ensayado por \_\_\_\_\_

Revisado y aprobado por \_\_\_\_\_

**Ilustración 20. Formato para análisis de peso específico**

Fuente: ETERNA S.A de C.V



## 4.5 UNIDAD DE ANÁLISIS Y RESPUESTA

Se entiende por unidad de análisis y respuesta los objetos de estudio mediante los cuales se va a obtener información. La unidad de análisis brinda los datos necesarios para todo el proceso de investigación mientras que la unidad de respuesta se refiere a qué información o datos específicos se requiere obtener de los objetos de estudio.

### 4.5.1 UNIDAD DE ANÁLISIS

Serán tomados como testigos (cilindros y vigas) válidos todos aquellos que cumplan con las especificaciones de tamaño, preparación y curado según el ASTM C-192, que no hayan sufrido alteraciones durante el ensayo y finalmente que sean sometidos a ruptura con equipos adecuadamente calibrados.

### 4.5.2 UNIDAD DE RESPUESTA

Como unidad de respuesta se evaluarán todos los datos obtenidos de lecturas provenientes de los ensayos de ruptura a compresión y flexión de los testigos siempre y cuando no hayan sufrido alteraciones o daños imprevistos. Los datos se interpretan como resistencia en libras por pulgada cuadrada a compresión y flexión.

## 4.6 MATERIALES

Seguidamente, se identifican los materiales o materias primas que tendrán la mayor importancia y participación para la completa realización del estudio. Según (Harmsen, 2005) :

El concreto es una mezcla de cemento, agregado grueso, agregado fino y agua. El cemento, el agua y la arena constituyen el mortero cuya función es unir las diversas partículas de agregado grueso llenando los vacíos entre ellas. En teoría el volumen de mortero solo debería llenar el volumen entre partículas. Para obtener un buen concreto no solo basta contar con materiales de buena calidad mezclados en proporciones correctas. Es necesario también tener en cuenta factores como el proceso de mezclado, transporte, colocación y curado. (p. 11)

- 1) **Agregado Fino:** Proveniente del río Chamelecón. Son aquellas partículas provenientes de la desintegración natural o artificial, que pasa por el tamiz 3/8. Debe estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos,

pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas. (Harmsen, 2005) afirma que: "Las partículas deben tener un tamaño menor a  $\frac{1}{4}$  de pulgada y su gradación debe satisfacer los requisitos propuestos en la norma ASTM C-33-99<sup>a</sup> " (p. 12).



**Ilustración 22. Agregado Fino**

Fuente: Propia

- 2) **Agregado Grueso:** Proveniente del río Chamelecón. Está compuesto de rocas graníticas, dioritas y sienitas. Puede usarse piedra partida en trituradora o grava zarandeada de los lechos de los ríos o yacimientos naturales. "Es conveniente que su tamaño máximo sea menor que  $\frac{1}{5}$  de la distancia entre las paredes del encofrado,  $\frac{3}{4}$  de la distancia libre entre armaduras y  $\frac{1}{3}$  del espesor de las losas. La piedra se denomina por el tamaño máximo de agregado" (Harmsen, 2005, p. 13). Adicionalmente se conoce como agregado grueso a aquellas partículas retenidas en el tamiz #4 proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumplen con los límites establecidos por las normas.



**Ilustración 23. Agregado Grueso**

Fuente: CONSTRUEX

- 3) **Cemento Tipo HE:** Provisto por CONETSA, este material es la unión de cementantes pulverizados con el Clinker, que combinados con agua forma una pasta capaz de endurecer en el agua y al aire. El cemento tipo HE cumple con los requisitos de la norma ASTM C-1157. Es apto para la elaboración de estructuras que requieren alta resistencia inicial; por ejemplo, la producción de bloques, postes, tubos de drenaje, pavimentos etc. También se utiliza en la construcción de concretos con compromiso estructura en el caso de vigas, columnas y cimentaciones.



**Ilustración 24. Cemento Tipo HE**

Fuente: CENOSA

- 4) **Agregado de RCD:** Este agregado fue obtenido de residuos de cilindros, adoquines y vigas. Los mismos fueron procesados en una trituradora de impacto con el objetivo de obtener una granulometría igual o similar a las usadas comúnmente en las dosificaciones de pavimento rígido. Para el estudio se logró obtener granulometrías que cumplían con los límites establecidos por la norma ASTM C-33.



**Ilustración 25. Agregado de RCD**

Fuente: Propia



**Ilustración 26. Trituradora de Impacto en ETERNA-CONETSA**

Fuente: Propia

- 5) **Agua:** Según (Harmsen, 2005) : “ El agua empleada en la mezcla debe ser limpia, libre de aceites, ácidos, álcalis, sales y materias orgánicas ” (p. 13). En general, el agua potable es adecuada para el concreto. Su objetivo principal es hidratar al cemento, pero también mejora la trabajabilidad de la mezcla. El agua utilizada para el proyecto en cuestión debió ser potable en su mínimo requerimiento.



**Ilustración 27. Agua**

Fuente: SIEMENS



## 4.7 FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información sirvieron como las principales referencias teóricas para la investigación. Adicionalmente, las fuentes sirven para validar los procesos y practicas a realizar en base que son investigaciones e información revisada y publicada. Las mismas se dividen en primarias y secundarias, las cuales se presentan a continuación.

### 4.7.1 FUENTES PRIMARIAS

- Metodología de la Investigación por Roberto Hernández Sampieri
- Normas del American Concrete Institute
- Normas del ASTM International

### 4.7.2 FUENTES SECUNDARIAS

- Manual de laboratorio de UNITEC
- Tesis publicadas en UNITEC
- Estudios previos y reportes científicos publicados en línea provenientes de páginas gubernamentales, institucionales u organizaciones.

## 4.8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

**Tabla 23. Cronograma de Actividades**

ACTIVIDAD	DURACIÓN (Días)	INICIO	FINAL
Primera Reunión de la Clase de Proyecto I	1	10/15/2018	10/15/2018
Presentación de Propuesta de Investigación	1	10/16/2018	10/16/2018
Aprobación de Proyecto	1	10/25/2018	10/25/2018
Reunión en CONETSA	1	10/31/2018	10/31/2018
Primer Avance de Proyecto	1	11/1/2018	11/1/2018
Práctica de Ensayos de Laboratorio para Agregado #4 Combinado con #6 (Control)	2	11/6/2018	11/7/2018
Acarreo de Materiales para Trituración a Agregado #4 (Adoquines y Cilindros)	2	11/13/2018	11/14/2018
Trituración de Agregado #4	1	11/16/2018	11/16/2018
Práctica de Ensayos de Laboratorio para Agregado #4 (Reciclado)	2	11/19/2018	11/20/2018

Acarreo de Materiales para Trituración a Agregado #467 (Cilindros de Concreto)	3	11/21/2018	11/23/2018
Segundo Avance de Proyecto	1	11/22/2018	11/22/2018
Reunion con Dirección de Ingeniería CONETSA	1	11/26/2018	11/26/2018
Elaboración de cilindros y vigas con Agregado #4 (Reciclado)	1	11/27/2018	11/27/2018
Trituración de Agregado #467	1	11/30/2018	11/30/2018
Práctica de Ensayos de Laboratorio para Agregado #467 (Reciclado)	2	12/1/2018	12/3/2018
Reunion con Dirección de Ingeniería CONETSA	1	12/3/2018	12/3/2018
Ruptura de Cilindros y Vigas Elaborados con Agregado Reciclado #4 (7 días)	1	12/4/2018	12/4/2018
Tercer Avance de Proyecto	1	12/4/2018	12/4/2018
Elaboración de cilindros y vigas con Agregado #467 (Reciclado)	1	12/5/2018	12/5/2018
Ruptura de Cilindros y Vigas Elaborados con Agregado Reciclado #467 (7 días)	1	12/12/2018	12/12/2018
Prueba de Desgaste de Los Angeles para los Agregados	2	12/17/2018	12/18/2018
Reunion con Asesor Estadístico	1	12/20/2018	12/20/2018
Reunion con Dirección de Ingeniería CONETSA	1	12/21/2018	12/21/2018
Ruptura de Cilindros y Vigas Elaborados con Agregado Reciclado #4 (28 días)	1	12/27/2018	12/27/2018
Ruptura de Cilindros y Vigas Elaborados con Agregado Reciclado #467 (28 días)	1	1/3/2019	1/3/2019
<b>Total Días</b>	<b>32</b>		

#### 4.9 DIAGRAMA DE GAANT

## **CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

El agregado RCD utilizado en las mezclas de concreto reciclado se obtuvo mediante la trituración de adoquines, testigos cilíndricos y prismáticos producidos en el plantel de Concretos Olímpico en San Pedro Sula. Se tomó la decisión de triturar los testigos a los dos tamaños de agregados más utilizados en los diseños de pavimentos rígidos de la empresa CONETSA con el fin de reutilizar los desperdicios y así evitar el desecho y acumulación de estos. A continuación, la Ilustración 28 muestra los testigos y adoquines de concreto antes y después de la trituración.



**Ilustración 28. Testigos y adoquines de concreto antes y después de trituración**

Fuente: Propia

La Ilustración 28 muestra, de izquierda a derecha, los testigos y adoquines antes de ser triturados, agregado grueso triturado a tamaño 4 (v. Tabla 24) y la última se refiere al agregado triturado a tamaño 467. Analizando las muestras de material procesado se observó que, cuando se tritura a tamaño 4, la mayoría de las partículas obtenidas son de concreto. Al contrario, cuando los testigos se trituran a tamaño 467, la grava anterior es retenida en su mayoría junto con algunas partículas recubiertas de concreto. Ambos procesos de trituración proporcionan agregados que cumplen con las normas según el ASTM C33. Dicho lo anterior, se presenta a continuación, el proceso completo para la gradación de los agregados, ilustraciones y memorias de cálculo de los ensayos y diseños de mezcla de concreto con sus respectivos resultados.

## **5.1 GRANULOMETRÍA Y GRADACIÓN DE LOS AGREGADOS**

CONETSA realiza sus diseños de pavimento rígido utilizando dos tamaños de agregados según el ASTM C33/C33M, siendo el primero una combinación de 45% de agregados tamaño 4 (1 ½ "a ¾ ") y 55% tamaño 6 (¾ " a 3/8"). El segundo es 100% agregado tamaño 467 (1 ½ "a No. 4). Se decidió triturar los RCD únicamente a tamaños de agregado 4 y 467 para responder las preguntas de investigación anteriormente planteadas. Los agregados se categorizan utilizando la Tabla 24.

**Tabla 24. Gradación de los agregados**

**TABLE 3 Grading Requirements for Coarse Aggregates**

Size Number	Nominal Size (Sieves with Square Openings)	Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square-Openings), Mass Percent												
		100 mm (4 in.)	90 mm (3½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)
1	90 to 37.5 mm (3½ to 1½ in.)	100	90 to 100	...	25 to 60	...	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
2	63 to 37.5 mm (2½ to 1½ in.)	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
3	50 to 25.0 mm (2 to 1 in.)	...	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...
357	50 to 4.75 mm (2 in. to No. 4)	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	...	0 to 5	...	...
4	37.5 to 19.0 mm (1½ to ¾ in.)	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...
467	37.5 to 4.75 mm (1½ in. to No. 4)	...	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	0 to 5	...	...
5	25.0 to 12.5 mm (1 to ½ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...	...
56	25.0 to 9.5 mm (1 to ¾ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 85	10 to 40	0 to 15	0 to 5	...	...
57	25.0 to 4.75 mm (1 in. to No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 to 100	...	25 to 60	...	0 to 10	0 to 5	...
6	19.0 to 9.5 mm (¾ to ¾ in.)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	0 to 5	...	...
67	19.0 to 4.75 mm (¾ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...
7	12.5 to 4.75 mm (½ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	...
8	9.5 to 2.36 mm (¾ in. to No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5
89	9.5 to 1.18 mm (¾ in. to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	5 to 30	0 to 10
9 <sup>A</sup>	4.75 to 1.18 mm (No. 4 to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 40	0 to 10

<sup>A</sup> Size number 9 aggregate is defined in Terminology C125 as a fine aggregate. It is included as a coarse aggregate when it is combined with a size number 8 material to create a size number 89, which is a coarse aggregate as defined by Terminology C125.

C33/C33M - 16<sup>th</sup>

Fuente: Norma ASTM C-33/C33M

### 5.1.1 MUESTRA DE TRITURACIÓN 1

La tabla 25 presenta la granulometría obtenida para la muestra de la primera trituración de agregado grueso.

**Tabla 25. Granulometría de agregado tamaño 4**

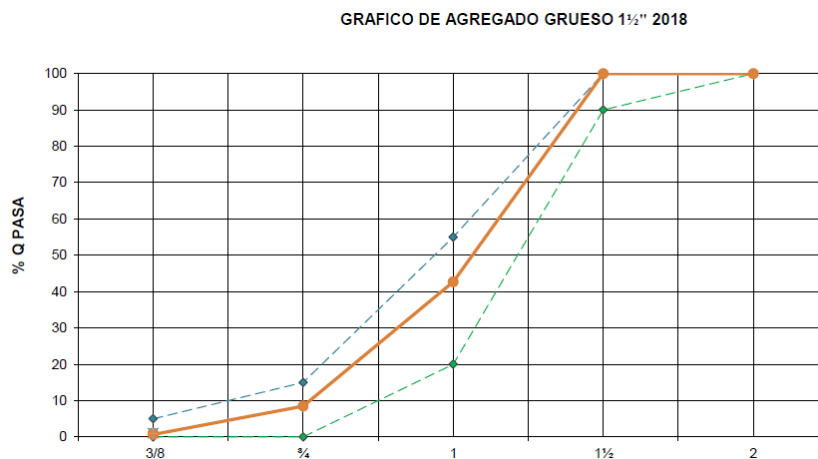
DETERMINACION DE MATERIAL MAS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)						
Peso muestra seca sin lavar (grs)		Peso muestra seca lavada (grs)		Pérdida por lavado (grs)		Material más fino que Tamiz # 200 (%)
2707.1		2697.7		9.4		0.35
ANALISIS GRANULOMETRICO						
Tamiz	Peso Retenido Individual (grs)	Material Retenido (%)		% retenido acumulado	% Pase	Parámetro
2	0.0	0.00		0.00	100.00	100   A   100

1½	0.0	0.00	0.00	100.00	95	A	100
1	1546.1	57.32	57.32	42.68			
¾	922.4	34.20	91.52	8.48	35	A	70
½	207.7	7.70	99.22	0.78			
3/8	2.6	0.10	99.32	0.68	10	A	30
# 4	2.1	0.08	99.40	0.60	0	A	5
# 8	0.5	0.02	99.41	0.59			
# 16	1.7	0.06	99.48	0.52			
# 30	2.0	0.07	99.55	0.45			
# 50	3.2	0.12	99.67	0.33			
# 100	4.2	0.16	99.83	0.17			
Fondo	4.7	0.17	100.00	0.00			
Totales =	2697.2		MF = 6.97				

Fuente: Propia

Se observan los porcentajes de pase de la tabla 25 y se comparan con los requeridos por la tabla. 24. Hecho lo anterior, se confirma que se obtuvo un agregado de gradación tamaño 4 con un módulo de finura igual a 6.97.

Seguidamente, se grafica la granulometría con los respectivos límites inferiores y superiores para su aceptación, como es presentado en la ilustración 29.



**Ilustración 29. Gráfica granulométrica de agregado tamaño 4**

Fuente: Propia

### 5.1.2 MUESTRA DE TRITURACIÓN 2

**Tabla 26. Granulometría de agregado tamaño 6**

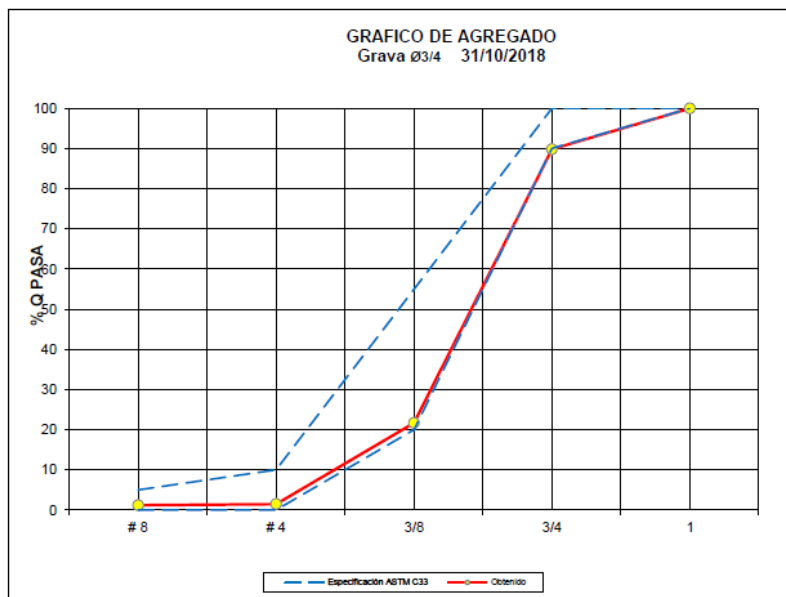
DETERMINACION DE MATERIAL MAS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)							
Peso muestra seca sin lavar (grs)		Peso muestra seca lavada (grs)		Pérdida por lavado (grs)		Material más fino que Tamiz # 200 (%)	
2588.9		2567.4		21.5		0.83	
ANALISIS GRANULOMETRICO							
Tamiz	Peso Retenido Individual (grs)	Material Retenido (%)	% retenido acumulado	% Pase	Parámetro		
2	0.0	0.00	0.00	100.00	100	A	100
1½	0.0	0.00	0.00	100.00	95	A	100
1	0.0	0.00	0.00	100.00			
¾	261.5	10.19	10.19	89.81	35	A	70
½	1149.9	44.79	54.97	45.03			

3/8	599.7	23.36	78.33	21.67	10	A	30
# 4	518.1	20.18	98.51	1.49	0	A	5
# 8	7.8	0.30	98.82	1.18			
# 16	4.6	0.18	99.00	1.00			
# 30	5.8	0.23	99.22	0.78			
# 50	7.3	0.28	99.51	0.49			
# 100	7.6	0.30	99.80	0.20			
Fondo	5.1	0.20	100.00	0.00			
Totales =	2567.4		MF = 6.83				

Fuente: Propia

Los porcentajes de pase presentados en la tabla 26 indican que el agregado en efecto es de tamaño 6 con un módulo de finura igual a 6.83.

El agregado también cumple con los límites granulométricos como se muestra en la ilustración 30.



**Ilustración 30. Gráfica granulométrica de agregado tamaño 6**

Fuente: Propia

### 5.1.3 MUESTRA DE TRITURACIÓN 3

**Tabla 27. Granulometría de agregado tamaño 4 Reciclado**



DETERMINACION DE MATERIAL MAS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)							
Peso muestra seca sin lavar (grs)		Peso muestra seca lavada (grs)		Pérdida por lavado (grs)		Material más fino que Tamiz # 200 (%)	
4853		4840.6		12.4		0.26	
ANALISIS GRANULOMETRICO							
Tamiz	Peso Retenido Individual (grs)	Material Retenido (%)	% retenido acumulado	% Pase	Parámetro		
2	0.0	0.00	0.00	100.00	100	A	100
1½	0.0	0.00	0.00	100.00	95	A	100
1	2841.7	58.71	58.71	41.29			
¾	1540.6	31.83	90.53	9.47	35	A	70
½	383.4	7.92	98.45	1.55			
3/8	8.5	0.18	98.63	1.37	10	A	30
# 4	15.5	0.32	98.95	1.05	0	A	5
# 8	4.8	0.10	99.05	0.95			
# 16	5.3	0.11	99.16	0.84			
# 30	8.1	0.17	99.32	0.68			
# 50	11.8	0.24	99.57	0.43			
# 100	11.5	0.24	99.81	0.19			
Fondo	9.4	0.19	100.00	0.00			
Totales =	4840.6	MF =	6.94				

Fuente: Propia

Nuevamente, se comparan los porcentajes de pase de la tabla 27 con los de la tabla 24 y se identifica como un agregado de tamaño 4 con módulo de finura igual a 6.94. Adicionalmente, se comprueba que el agregado reciclado a tamaño 4 cumple con los límites granulométricos como se muestra en la ilustración 31.

GRAFICO DE AGREGADO GRUESO RECICLADO 1½" 2018

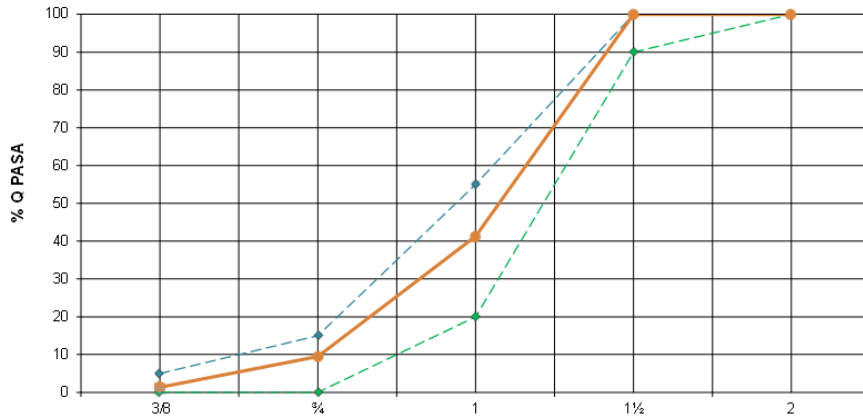


Ilustración 31. Gráfica granulométrica de agregado tamaño 4 Reciclado

Fuente: Propia

#### 5.1.4 MUESTRA DE TRITURACIÓN 4

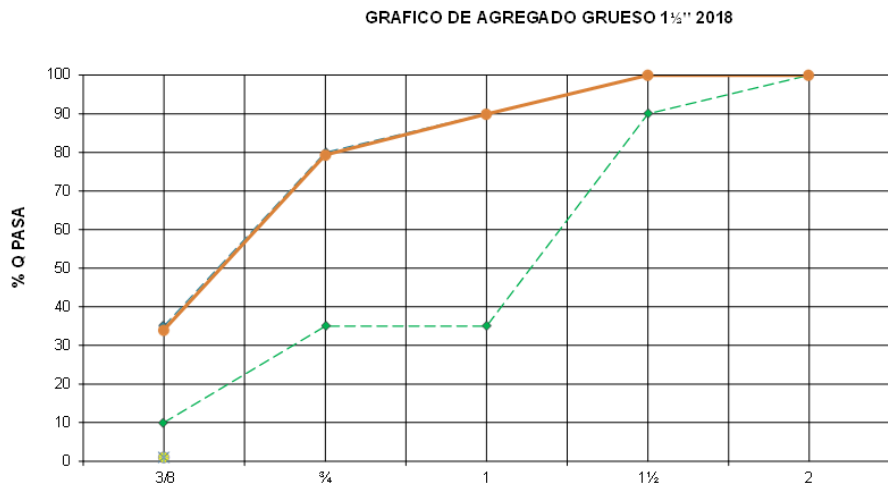
Tabla 28. Granulometría de agregado tamaño 467

DETERMINACION DE MATERIAL MAS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)							
Peso muestra seca sin lavar (grs)		Peso muestra seca lavada (grs)		Pérdida por lavado (grs)		Material más fino que Tamiz # 200 (%)	
5585.7		5485.3		100.4		1.80	
ANALISIS GRANULOMETRICO							
Tamiz	Peso Retenido Individual (grs)	Material Retenido (%)	% retenido acumulado	% Pase	Parámetro		
2	0.0	0.00	0.00	100.00	100	A	100
1½	0.0	0.00	0.00	100.00	95	A	100
1	551.6	10.06	10.06	89.94			
¾	580.5	10.58	20.64	79.36	35	A	70
½	1494.9	27.25	47.89	52.11			

3/8	993.3	18.11	66.00	34.00	10	A	30
# 4	1717.4	31.31	97.31	2.69	0	A	5
# 8	67.2	1.23	98.53	1.47			
# 16	39.6	0.72	99.26	0.74			
# 30	18.6	0.34	99.60	0.40			
# 50	8.6	0.16	99.75	0.25			
# 100	6.0	0.11	99.86	0.14			
Fondo	7.6	0.14	100.00	0.00			
Totales =	5485.3		MF = 6.60				

Fuente: Propia

Se confirma que el agregado obtenido de la trituración 4 es de tamaño 467 comparando sus porcentajes de pase con los de la tabla 24 y se obtiene un módulo de finura igual a 6.60. Se grafica en la curva granulométrica y se comprueba que este dentro de los limites.



**Ilustración 32. Gráfica granulométrica de agregado tamaño 467**

Fuente: Propia

5.1.5 MUESTRA DE TRITURACIÓN 5

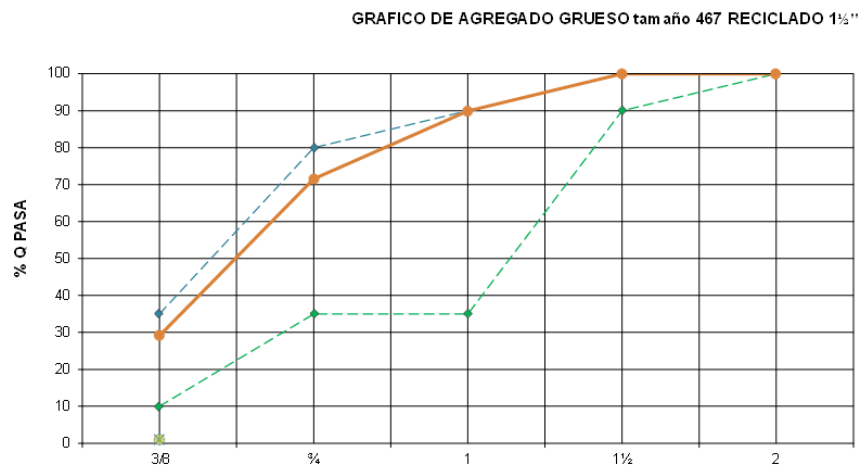
**Tabla 29. Granulometría de agregado tamaño 467 Reciclado**

DETERMINACION DE MATERIAL MAS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)							
Peso muestra seca sin lavar (grs)	Peso muestra seca lavada (grs)	Pérdida por lavado (grs)	Material más fino que Tamiz # 200 (%)				
4487.6	4487.3	0.3	0.01				
ANALISIS GRANULOMETRICO							
Tamiz	Peso Retenido Individual (grs)	Material Retenido (%)	% retenido acumulado	% Pase	Parámetro		
2	0.0	0.00	0.00	100.00	100	A	100
1½	0.0	0.00	0.00	100.00	95	A	100
1	632.0	14.11	14.11	85.89			
¾	643.3	14.36	28.48	71.52	35	A	70
½	1195.9	26.70	55.18	44.82			
3/8	704.1	15.72	70.90	29.10	10	A	30
# 4	1161.1	25.93	96.83	3.17	0	A	5
# 8	68.8	1.54	98.37	1.63			
# 16	39.4	0.88	99.25	0.75			
# 30	16.2	0.36	99.61	0.39			
# 50	7.5	0.17	99.78	0.22			

# 100	4.9	0.11	99.89	0.11		
Fondo	5.1	0.11	100.00	0.00		
Totales =	4478.3	MF =	6.65			

Fuente: Propia

Se toman los datos de porcentaje pasado del agregado 467 reciclado y se comparan con los de la tabla 24 para comprobar su gradación. Seguidamente se comprueba que esté dentro de los límites granulométricos como se presenta en la Ilustración 33.



**Ilustración 33. Gráfica granulométrica de agregado tamaño 467 Reciclado**

Fuente: Propia

## 5.2 RESULTADOS DE ENSAYOS PARA ARENA FINA

### 5.2.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

Para el cálculo de la gravedad específica o peso específico se tienen las siguientes variables:

$$A = \text{Peso del picnómetro en el aire (g)}$$

$$B = \text{Peso picnómetro + agua hasta la tara (g)}$$

$$C = \text{Peso de volumen de agua hasta la tara del picnómetro (g)}$$

$$D = \text{Peso muestra saturada con superficie seca, } W_m \text{ (g)}$$

$$E = \text{Peso frasco + muestra saturada con superficie seca (g)}$$

$$F = \text{Peso picnometro} + \text{muestra SSS} + \text{Agua aumentada (g)}$$

$$G = W_a; \text{ peso agua aumentada (g)}$$

$$H = W_o; \text{ peso muestra secada a peso constante (g)}$$

$$I = \text{Peso de un volumen de agua igual a la muestra SSS}$$

$$J = \text{Peso específico condición seca}$$

$$K = \text{Peso de agua en la muestra condición SSS (g)}$$

$$L = \text{Peso de un volumen de agua igual a la muestra secada (g)}$$

$$M = \text{Peso específico condición saturado con superficie seca}$$

$$N = \text{Peso específico aparente}$$

$$O = \text{Absorción (\%)}$$

Obtenidos los datos para todas las variables anteriores se calcula el peso específico y absorción de la arena fina siguiendo el proceso mostrado a continuación:

$$1) A = 153.25 \text{ g}$$

$$2) B = 652.5 \text{ g}$$

$$3) C = B - A = 652.5 - 153.25 = 499.25 \text{ g}$$

$$4) D = 500 \text{ g}$$

$$5) E = A + D = 153.25 + 500 = 653.25 \text{ g}$$

$$6) F = 961.85 \text{ g}$$

$$7) G = F - E = 961.85 - 653.25 = 308.6 \text{ g}$$

$$8) H = 488.55 \text{ g}$$

$$9) I = C - G = 499.25 - 308.6 = 190.65$$

$$10) J = \frac{H}{I} = \frac{488.55}{190.65} = 2.6$$

$$11) K = D - H = 500 - 488.55 = 11.45 \text{ g}$$

$$12) L = I - K = 190.65 - 11.45 = 179.2 \text{ g}$$

$$13) M = \frac{D}{I} = \frac{500}{190.65} = 2.623$$

$$14) N = \frac{H}{L} = \frac{488.55}{179.2} = 2.7$$

$$15) O = \frac{K}{H} * 100 = \frac{11.45}{488.55} * 100 = 2.344$$

Los resultados obtenidos para gravedad específica  $G_{SSS}$  y porcentaje de absorción de la arena fina son 2.62 y 2.34%, respectivamente.

### 5.3 RESULTADOS DE ENSAYOS PARA AGREGADO GRUESO #4 COMBINADO CON #6

#### 5.3.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

Para el cálculo de la gravedad específica de la grava se tienen las variables:

$$A = \text{Peso de Recipiente (g)}$$

$$B = \text{Peso Material en condición Saturada Superficie Seca en aire, } W_{SSS} \text{ (g)}$$

$$C = \text{Peso de Recipiente + Muestra Saturada con Superficie Seca en aire (g)}$$

$$D = \text{Peso de Recipiente suspendido en agua (g)}$$

$$E = \text{Peso de Recipiente y material suspendido en agua en condición Saturada Superficie Seca (g)}$$

$$F = \text{Peso de material saturado suspendido en agua, } W_{ma} \text{ (g)}$$

$$G = \text{Peso de Material seco a peso constante, } W_o \text{ (g)}$$

$$H = \text{Peso de Recipiente + Material seco a peso constante (g)}$$

$$I = \text{Peso Específico (densidad relativa) de material seco, } G_s$$

$$J = \text{Peso de Específico (densidad relativa) de material saturado superficie seca, } G_{SSS}$$

$$K = \text{Peso específico (densidad relativa) aparente de material, } G_{ap}$$

$$L = \text{Absorción de material, } Ab_s \text{ (\%)}$$

Se procede a seguir los siguientes pasos:

- 1)  $A = 1019 \text{ g}$
- 2)  $B = 3519.5 \text{ g}$
- 3)  $C = A + B = 1019 + 3519.5 = 4538.5 \text{ g}$
- 4)  $D = 886 \text{ g}$
- 5)  $E = 3104 \text{ g}$

- 6)  $F = E - D = 3104 - 886 = 2218 \text{ g}$
- 7)  $G = 3474 \text{ g}$
- 8)  $H = G + A = 3474 + 1019 = 4493 \text{ g}$
- 9)  $I = \frac{G}{B-F} = \frac{3474}{3519.5-2218} = 2.669$
- 10)  $J = \frac{B}{B-F} = \frac{3519.5}{3519.5-2218} = 2.704$
- 11)  $K = \frac{G}{G-F} = \frac{3474}{3474-2218} = 2.766$
- 12)  $L = \frac{B-G}{G} * 100 = \frac{3519.5-3474}{3474} * 100 = 1.308\%$

Los resultados obtenidos de la combinación de 45% agregado tamaño 4 y 55% tamaño 6 para la gravedad específica y absorción son 2.76 y 1.31%, respectivamente.

### 5.3.2 PESO VOLUMÉTRICO SUELTO SECO

- 1)  $W_{\text{Recipiente vacío}} + \text{Muestra} = 60.45 \text{ lbs}$
- 2)  $W_{\text{Recipiente vacío}} = 13.8 \text{ lbs}$
- 3)  $\text{Volumen del Recipiente, } Vr = 0.5 \text{ ft}^3$
- 4)  $\text{Peso Neto de la muestra, } W = 60.45 - 13.8 = 46.65 \text{ lbs}$
- 5)  $\text{Peso Volumétrico del material, } Pu = \frac{46.65}{0.5} = 93.3 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$
- 6)  $\text{Peso Volumétrico del material, } Pu = 1,494.34 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- 7)  $\text{Peso Volumétrico del material, } Pu = 3,294.42 \frac{\text{lb}}{\text{m}^3}$
- 8)  $\text{Porcentaje de vacíos, } Vo = \frac{62.3 \times Gs - Pu}{(Gs \times Pu)} \times 100 = 30.5\%$

### 5.3.3 PESO VOLUMÉTRICO COMPACTADO SECO

- 1)  $W_{\text{Recipiente vacío}} + \text{Muestra} = 64.75 \text{ lbs}$
- 2)  $W_{\text{Recipiente vacío}} = 13.8 \text{ lbs}$
- 3)  $\text{Volumen del Recipiente, } Vr = 0.5 \text{ ft}^3$
- 4)  $\text{Peso Neto de la muestra, } W = 64.75 - 13.8 = 50.95 \text{ lbs}$
- 5)  $\text{Peso Volumétrico del material, } Pu = \frac{50.95}{0.5} = 101.9 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$
- 6)  $\text{Peso Volumétrico del material, } Pu = 1,632.08 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- 7)  $\text{Peso Volumétrico del material, } Pu = 3,598.08 \frac{\text{lb}}{\text{m}^3}$



$$8) \text{ Porcentaje de vacíos, } Vo = \frac{62.3 \times Gs - Pu}{(Gs \times Pu)} \times 100 = 24.9\%$$

### 5.3.4 DESGASTE DE LOS ÁNGELES

Para la prueba de desgaste, se necesita verificar la granulometría y así identificar la gradación del agregado según la norma ASTM C131 "Método estándar para prueba de resistencia al desgaste de partículas pequeñas por abrasión e impacto en máquina de los ángeles". Todos los agregados del estudio son de tipo A por contener partículas pequeñas en su granulometría. Lo anterior corresponde a una carga abrasiva de 12 esferas a 500 vueltas.

Peso Muestra: Se tomó una muestra de 5002.21 g del agregado

Peso retenido en tamiz #12 después del desgaste: 3875.03 g

Utilizando la Ecuación 10 se obtiene el porcentaje de desgaste para el agregado.

$$\text{Porcentaje de desgaste} = \frac{5002.21 - 3875.03}{5002.21} \times 100 = 22.53\%$$

El porcentaje obtenido se compara con los parámetros de la Tabla 22 y se concluye que el agregado, por tener un desgaste menor a 25%, es excelente.

## 5.4 RESULTADOS DE ENSAYOS PARA AGREGADO GRUESO #4 RECICLADO

### 5.4.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

Nuevamente tomar en cuenta las siguientes variables para la obtención de la gravedad

$$A = \text{Peso de Recipiente (g)}$$

$$B = \text{Peso Material en condición Saturada Superficie Seca en aire, } W_{SSS} \text{ (g)}$$

$$C = \text{Peso de Recipiente + Muestra Saturada con Superficie Seca en aire (g)}$$

$$D = \text{Peso de Recipiente suspendido en agua (g)}$$

$$E = \text{Peso de Recipiente y material suspendido en agua en condición Saturada Superficie Seca (g)}$$

$$F = \text{Peso de material saturado suspendido en agua, } W_{ma} \text{ (g)}$$

$G = \text{Peso de Material seco a peso constante, } W_o \text{ (g)}$

$H = \text{Peso de Recipiente + Material seco a peso constante (g)}$

$I = \text{Peso Específico (densidad relativa) de material seco, } G_s$

$J = \text{Peso de Específico (densidad relativa) de material saturado  
superficie seca, } G_{SSS}$

$K = \text{Peso específico (densidad relativa) aparente de material, } G_{ap}$

$L = \text{Absorción de material, } Ab_s(\%)$

Procedimiento:

1)  $A = 1017 \text{ g}$

2)  $B = 3001 \text{ g}$

3)  $C = A + B = 1017 + 3001 = 4018 \text{ g}$

4)  $D = 886 \text{ g}$

5)  $E = 2615 \text{ g}$

6)  $F = E - D = 2615 - 886 = 1729 \text{ g}$

7)  $G = 2771 \text{ g}$

8)  $H = G + A = 2771 + 1017 = 3788 \text{ g}$

9)  $I = \frac{G}{B-F} = \frac{2771}{3001-1729} = 2.178$

10)  $J = \frac{B}{B-F} = \frac{3001}{3001-1729} = 2.359$

11)  $K = \frac{G}{G-F} = \frac{2771}{2771-1729} = 2.659$

12)  $L = \frac{B-G}{G} * 100 = \frac{3001-2771}{2771} * 100 = 8.301\%$

Hechos los cálculos se obtiene una gravedad específica igual a 2.66 y un porcentaje de absorción de 8.3% para el agregado #4 Reciclado.

#### 5.4.2 PESO VOLUMÉTRICO SUELTO SECO

1)  $W_{\text{Recipiente vacío}} + \text{Muestra} = 49.75 \text{ lbs}$

2)  $W_{\text{Recipiente vacío}} = 13.8 \text{ lbs}$

3)  $\text{Volumen del Recipiente, } V_r = 0.5 \text{ ft}^3$

- 4) *Peso Neto de la muestra,  $W = 49.75 - 13.8 = 35.95 \text{ lbs}$*
- 5) *Peso Volumétrico del material,  $Pu = \frac{35.95}{0.5} = 71.9 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$*
- 6) *Peso Volumétrico del material,  $Pu = 1,151.59 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$*
- 7) *Peso Volumétrico del material,  $Pu = 2,538.80 \frac{\text{lb}}{\text{m}^3}$*
- 8) *Porcentaje de vacíos,  $Vo = \frac{62.3 \times Gs - Pu}{(Gs \times Pu)} \times 100 = 49.36\%$*

#### 5.4.3 PESO VOLUMÉTRICO COMPACTADO

- 1)  *$W_{\text{Recipiente vacío}} + \text{Muestra} = 54.65 \text{ lbs}$*
- 2)  *$W_{\text{Recipiente vacío}} = 13.8 \text{ lbs}$*
- 3)  *$Volumen \text{ del Recipiente, } Vr = 0.5 \text{ ft}^3$*
- 4)  *$Peso \text{ Neto de la muestra, } W = 54.65 - 13.8 = 40.85 \text{ lbs}$*
- 5)  *$Peso \text{ Volumétrico del material, } Pu = \frac{40.85}{0.5} = 81.7 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$*
- 6)  *$Peso \text{ Volumétrico del material, } Pu = 1,308.55 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$*
- 7)  *$Peso \text{ Volumétrico del material, } Pu = 2,884.83 \frac{\text{lb}}{\text{m}^3}$*
- 8)  *$Porcentaje \text{ de vacíos, } Vo = \frac{62.3 \times Gs - Pu}{(Gs \times Pu)} \times 100 = 38.97\%$*

#### 5.4.4 DESGASTE DE LOS ÁNGELES

Se necesita verificar nuevamente la granulometría y así identificar la gradación del agregado según la norma ASTM C131 "Método estándar para prueba de resistencia al desgaste de partículas pequeñas por abrasión e impacto en máquina de los ángeles". Todos los agregados del estudio son de tipo A por contener partículas pequeñas en su granulometría. Lo anterior corresponde a una carga abrasiva de 12 esferas a 500 vueltas.

Peso Muestra: Se tomó una muestra de 5003.11 g del agregado

Peso retenido en tamiz #12 después del desgaste: 3175.4 g

Utilizando la ecuación 10 se obtiene el porcentaje de desgaste para el agregado.

$$\text{Porcentaje de desgaste} = \frac{5003.11 - 3175.4}{5003.11} \times 100 = 36.53\%$$

El porcentaje obtenido se compara con los parámetros de la tabla 22 y se concluye que el agregado, por tener un desgaste mayor a 35%, no debe utilizarse para un pavimento hidráulico.

## 5.5 RESULTADOS DE ENSAYOS PARA AGREGADO TAMAÑO 467

### 5.5.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

$A = \text{Peso muestra seca al horno (g)}$

$B = \text{Peso muestra con Superficie Seca Saturada (g)}$

$C = \text{Peso muestra en el agua (g)}$

$D = \text{Peso de cesta en el aire (g)}$

$E = \text{Peso de cesta en el agua (g)}$

$F = \text{Peso de cesta + muestra con Superficie Seca Saturada (g)}$

$G = \text{Peso de cesta + muestra sumergida en agua (g)}$

$H = \text{Peso de cesta + muestra seca al horno (g)}$

$I = \text{Peso de Específico (densidad relativa) de material saturado}$   
 $\text{superficie seca, } G_{SSS}$

$J = \text{Peso específico (densidad relativa) aparente de material, } G_{ap}$

$K = \text{Absorción de material, } Ab_s(\%)$

Se sigue el mismo procedimiento para los agregados anteriores:

1)  $A = 3142.4 \text{ g}$

2)  $B = 3195.7 \text{ g}$

3)  $C = 1994.7 \text{ g}$

4)  $D = 1019 \text{ g}$

5)  $E = 886 \text{ g}$

6)  $F = B + D = 3195.7 + 1019 = 4214.7 \text{ g}$

7)  $G = C + E = 1994.7 + 886 = 2880.7 \text{ g}$

8)  $H = A + D = 3142.4 + 1019 = 4161.4 \text{ g}$

$$9) I = \frac{B}{B-C} = \frac{3195.7}{3195.7-1994.7} = 2.66$$

$$10) J = \frac{A}{A-C} = \frac{3142.4}{3142.4-1994.7} = 2.74$$

$$11) K = \frac{B-A}{A} * 100 = \frac{3195.7-3142.4}{3142.4} * 100 = 1.7\%$$

Para el agregado tamaño 467 normal se obtuvo una gravedad específica de 2.74 y un porcentaje de absorción de 1.7%.

### 5.5.2 PESO VOLUMÉTRICO SUELTO SECO

$$1) W_{\text{Recipiente vacío}} + \text{Muestra} = 62.6 \text{ lbs}$$

$$2) W_{\text{Recipiente vacío}} = 13.8 \text{ lbs}$$

$$3) \text{Volumen del Recipiente, } Vr = 0.5 \text{ ft}^3$$

$$4) \text{Peso Neto de la muestra, } W = 62.6 - 13.8 = 48.8 \text{ lbs}$$

$$5) \text{Peso Volumétrico del material, } Pu = \frac{48.8}{0.5} = 97.6 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$6) \text{Peso Volumétrico del material, } Pu = 1,565.48 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$7) \text{Peso Volumétrico del material, } Pu = 3,444.07 \frac{\text{lb}}{\text{m}^3}$$

$$8) \text{Porcentaje de vacíos, } Vo = \frac{62.3 \times Gs - Pu}{(Gs \times Pu)} \times 100 = 26.23\%$$

### 5.5.3 PESO VOLUMÉTRICO COMPACTADO SECO

$$1) W_{\text{Recipiente vacío}} + \text{Muestra} = 66.7 \text{ lbs}$$

$$2) W_{\text{Recipiente vacío}} = 13.8 \text{ lbs}$$

$$3) \text{Volumen del Recipiente, } Vr = 0.5 \text{ ft}^3$$

$$4) \text{Peso Neto de la muestra, } W = 66.7 - 13.8 = 52.9 \text{ lbs}$$

$$5) \text{Peso Volumétrico del material, } Pu = \frac{52.9}{0.5} = 105.8 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$6) \text{Peso Volumétrico del material, } Pu = 1,697.01 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$7) \text{Peso Volumétrico del material, } Pu = 3,733.42 \frac{\text{lb}}{\text{m}^3}$$

$$8) \text{Porcentaje de vacíos, } Vo = \frac{62.3 \times Gs - Pu}{(Gs \times Pu)} \times 100 = 21.29\%$$

#### 5.5.4 DESGASTE DE LOS ÁNGELES

Para la prueba de desgaste, se necesita verificar la granulometría y así identificar la gradación del agregado según la norma ASTM C131 "Método estándar para prueba de resistencia al desgaste de partículas pequeñas por abrasión e impacto en máquina de los ángeles". Todos los agregados del estudio son de tipo A por contener partículas pequeñas en su granulometría. Lo anterior corresponde a una carga abrasiva de 12 esferas a 500 vueltas.

Peso Muestra: Se tomó una muestra de 5001.33 g del agregado

Peso retenido en tamiz #12 después del desgaste: 3880.51 g

Utilizando la ecuación 10 se obtiene el porcentaje de desgaste para el agregado.

$$\text{Porcentaje de desgaste} = \frac{5001.33 - 3880.51}{5001.33} \times 100 = 22.41\%$$

El porcentaje obtenido se compara con los parámetros de la Tabla 22 y se concluye que el agregado, por tener un desgaste menor a 25%, es excelente.

### 5.6 RESULTADOS DE ENSAYOS PARA AGREGADO TAMAÑO 467 RECICLADO

#### 5.6.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

$A = \text{Peso muestra seca al horno (g)}$

$B = \text{Peso muestra con Superficie Seca Saturada(g)}$

$C = \text{Peso muestra en el agua (g)}$

$D = \text{Peso de cesta en el aire (g)}$

$E = \text{Peso de cesta en el agua (g)}$

$F = \text{Peso de cesta + muestra con Superficie Seca Saturada (g)}$

$G = \text{Peso de cesta + muestra sumergida en agua (g)}$

$H = \text{Peso de cesta + muestra seca al horno (g)}$

$I = \text{Peso de Específico (densidad relativa) de material saturado}$

*superficie seca,  $G_{SSS}$*

*J = Peso específico (densidad relativa) aparente de material,  $G_{ap}$*

*K = Absorción de material,  $Ab_s(\%)$*

Procedimiento:

- 1)  $A = 2938 \text{ g}$
- 2)  $B = 3028 \text{ g}$
- 3)  $C = 1871 \text{ g}$
- 4)  $D = 1019 \text{ g}$
- 5)  $E = 886 \text{ g}$
- 6)  $F = B + D = 3028 + 1019 = 4047 \text{ g}$
- 7)  $G = C + E = 1871 + 886 = 2757 \text{ g}$
- 8)  $H = A + D = 2938 + 1019 = 3957 \text{ g}$
- 9)  $I = \frac{B}{B-C} = \frac{3028}{3028-1871} = 2.62$
- 10)  $J = \frac{A}{A-C} = \frac{2938}{2938-1871} = 2.75$
- 11)  $K = \frac{B-A}{A} * 100 = \frac{3028-2938}{2938} * 100 = 3.1\%$

El agregado tamaño 467 resultó tener una gravedad específica igual a 2.75 y una absorción mayor a la de su control de 3.1%.

#### 5.6.2 PESO VOLUMÉTRICO SUELTO

- 1)  $W_{\text{Recipiente vacío}} + \text{Muestra} = 58.2 \text{ lbs}$
- 2)  $W_{\text{Recipiente vacío}} = 13.8 \text{ lbs}$
- 3)  $\text{Volumen del Recipiente, } Vr = 0.5 \text{ ft}^3$
- 4)  $\text{Peso Neto de la muestra, } W = 58.2 - 13.8 = 44.4 \text{ lbs}$
- 5)  $\text{Peso Volumétrico del material, } Pu = \frac{44.4}{0.5} = 88.74 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$
- 6)  $\text{Peso Volumétrico del material, } Pu = 1,423.26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- 7)  $\text{Peso Volumétrico del material, } Pu = 3,131.18 \frac{\text{lb}}{\text{m}^3}$
- 8)  $\text{Porcentaje de vacíos, } Vo = \frac{62.3 \times G_s - Pu}{(G_s \times Pu)} \times 100 = 33.84\%$

### 5.6.3 PESO VOLUMÉTRICO COMPACTADO SECO

- 1)  $W_{\text{Recipiente vacío}} + \text{Muestra} = 63 \text{ lbs}$
- 2)  $W_{\text{Recipiente vacío}} = 13.8 \text{ lbs}$
- 3)  $\text{Volumen del Recipiente, } V_r = 0.5 \text{ ft}^3$
- 4)  $\text{Peso Neto de la muestra, } W = 63 - 13.8 = 49.2 \text{ lbs}$
- 5)  $\text{Peso Volumétrico del material, } P_u = \frac{49.2}{0.5} = 98.4 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$
- 6)  $\text{Peso Volumétrico del material, } P_u = 1,578.32 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- 7)  $\text{Peso Volumétrico del material, } P_u = 3,472.30 \frac{\text{lb}}{\text{m}^3}$
- 8)  $\text{Porcentaje de vacíos, } V_o = \frac{62.3 \times G_s - P_u}{(G_s \times P_u)} \times 100 = 26.94\%$

### 5.6.4 DESGASTE DE LOS ÁNGELES

Para la prueba de desgaste, se necesita verificar la granulometría y así identificar la gradación del agregado según la norma ASTM C131 "Método estándar para prueba de resistencia al desgaste de partículas pequeñas por abrasión e impacto en máquina de los ángeles". Todos los agregados del estudio son de tipo A por contener partículas pequeñas en su granulometría. Lo anterior corresponde a una carga abrasiva de 12 esferas a 500 vueltas.

Peso Muestra: Se tomó una muestra de 5000.66 g del agregado

Peso retenido en tamiz #12 después del desgaste: 3724.53 g

Utilizando la ecuación 10 se obtiene el porcentaje de desgaste para el agregado.

$$\text{Porcentaje de desgaste} = \frac{5000.66 - 3724.53}{5000.66} \times 100 = 25.52\%$$

El porcentaje obtenido se compara con los parámetros de la tabla 22 y se concluye que el agregado, por tener un desgaste menor a 30%, es bueno y puede utilizarse para un pavimento.



## 5.8 DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO

Obtenidos los datos para los ensayos de granulometría, peso volumétrico, gravedad específica y gradación de los agregados, se procede a diseñar la mezcla de concreto hidráulico para la resistencia esperada a los 28 días. Los pavimentos rígidos comunes se diseñan para obtener módulos de ruptura iguales a 600 MR, lo que equivale a una resistencia a la compresión de aproximadamente 3600 PSI. Lo anterior se comprueba mediante la Ecuación 11, la cual relaciona el módulo de ruptura y la resistencia a la compresión.

$$\text{Módulo de Ruptura} = K \sqrt{F'c}$$

### **Ecuación 11. Relación entre el módulo de ruptura y la resistencia a la compresión**

Fuente: (Silva, Pavón , & Hernández , 2013)

Utilizando un factor  $K=10$  y un  $MR=600$ ,

$$600 = 10\sqrt{F'c}$$

Despejando para la resistencia a compresión  $F'c$  se obtiene,

$$F'c = 3600 \text{ PSI}$$

Realizada la relación se comprueba que la mezcla de concreto hidráulico debe diseñarse para una resistencia a compresión de 3600 PSI. El valor debe recalcularse siguiendo el criterio No. 2 del ACI 214 R-11. Las ecuaciones para determinar el promedio mínimo requerido son las siguientes:

$$f'cr = f'c + \frac{z\sigma}{\sqrt{n}}$$

### **Ecuación 12. Cálculo de $F'c$ por método de desviación estándar**

Fuente: (American Concrete Institute, 2015)

Donde,

$F'c$  = Resistencia a la compresión esperada a los 28 días

$Z$  = (Obtenido de la Tabla 30)

$\sigma$  = Desviación estándar = 380

N = Número de resultados

**Tabla 30. Probabilidades asociadas con valores de Z**

Porcentajes de pruebas dentro de $\pm z\sigma$	Oportunidades de caer por debajo de $f'c - z\sigma$	z
40	3 in 10 (30%)	0.52
50	2.5 in 10 (25%)	0.67
60	2 in 10 (20%)	0.84
68.27	1 in 6.3 (15.9%)	1
70	1.5 in 10 (15%)	1.04
80	1 in 10 (10%)	1.28
90	1 in 20 (5%)	1.65
95	1 in 40 (2.5%)	1.96
95.45	1 in 44 (2.3%)	2
98	1 in 100 (1%)	2.33
99	1 in 200 (0.5%)	2.58
99.73	1 in 741 (0.13%)	3

Fuente: (American Concrete Institute, 2015)

Se decidió utilizar un valor de  $Z=2.33$  por ser el más común.

Utilizando la ecuación 12 para tres resultados se obtiene:

$$f'_{cr} = 3600psi + \frac{2.33 \times 380}{\sqrt{3}}$$

$$f'_{cr} = 4111psi$$

El resultado anterior se compara con el de la ecuación 13 con el objetivo de tomar el mayor valor para el diseño de la mezcla.

$$f'_{cr} = \frac{f'c}{1 - \frac{Z \times V}{\sqrt{n}}}$$

### **Ecuación 13. Cálculo de F'cr por método de coeficiente de variación**

Fuente: (American Concrete Institute, 2015)

Donde,

F'c= Resistencia a compresión esperada a los 28 días

Z= (Obtenido de la tabla 30)

V= Coeficiente de variación (Se utilizará 8.84%, valor obtenido de CONETSA)

n= Número de resultados

Remplazando los datos en las variables se obtiene:

$$f'_{cr} = \frac{3600}{\left(1 - \frac{2.33 \times 8.84\%}{\sqrt{3}}\right)}$$

$$f'_{cr} = 4085psi$$

El valor de la resistencia a compresión para los diseños de la mezcla de concreto hidráulico en todos los controles y mezclas con sustitución de RCD será el obtenido por el método de desviación estándar (4111 Psi) por ser el mayor entre ambas ecuaciones.

Conociendo la resistencia para la cual se realizará el diseño, se necesita determinar cuál será el revenimiento esperado para todas las mezclas. Este valor puede ser obtenido de la tabla 31.

**Tabla 31. Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción**

Tipos de Construcción	Revenimiento, pulg.
-----------------------	---------------------

	Max+1	Min
Muros de cimentación y zapatas	3	1
Losas de cimentación y muros de subestructuras	3	1
Vigas y muros reforzados	4	1
Columnas	4	1
Pavimentos y losas	3	1
Concreto masivo	2	1

Fuente: (American Concrete Institute , 2014)

Para el propósito de esta investigación se diseñará concreto hidráulico para pavimento, por lo tanto, se escogerá un revenimiento de 2 pulgadas. Cabe mencionar que el revenimiento puede incrementar con el uso de aditivos químicos.

A continuación, se muestran las tablas necesarias para realizar un diseño de proporción de mezcla obtenidas de la norma ACI 211.1:

**Tabla 32. Contenido de agua en kg por metro cúbico de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado**

Revenimiento		Agua, kg/m <sup>3</sup> de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado indicados							
		9.5 mm (3/8")	12.5 mm (1/2")	19 mm (3/4")	25 mm (1")	37.5 mm (1 1/2")	50 mm (2")	75 mm (3")	150 mm (6")
(cm)	(pulg)	Concreto sin aire incluido							
2.5 a 5	1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a									
10	3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a									
17.5	6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido, %		3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
		Concreto con aire incluido							
2.5 a 5	1 a 2	181	175	168	160	150	142	122	107

7.5 a									
10	3 a 4	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a									
17.5	6 a 7	216	205	197	184	174	166	154	-
Contenido promedio total de aire, para el nivel de exposición, %									
	Baja	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5xx	1xx
	Media	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5xx	3xx
Exposición	Extrema	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5xx	4xx

Fuente: (American Concrete Institute , 2014)

**Tabla 33. Valor de relación agua-cemento**

Esfuerzo a compresión a 28 días, kgf/cm <sup>3</sup>	Relación agua/cemento, por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.4
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Fuente: (American Concrete Institute , 2014)

**Tabla 34. Contenido de agregado grueso**

Tamaño máximo nominal del agregado	Volumen de agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura del agregado fino
------------------------------------	---

		2.4	2.6	2.8	3
9.5 mm	3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5 mm	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
19 mm	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
25 mm	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 mm	1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
50 mm	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
75 mm	3"	0.82	0.8	0.78	0.76
150 mm	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: (American Concrete Institute , 2014)

Adicionalmente, se necesita identificar cual será el volumen por batir en cada mezcla de concreto hidráulico. Primero, se cuantifica el volumen de concreto a batir en una sola mezcla el cual será de 0.10 metros cúbicos para todas las mezclas de la investigación. El volumen por batir se calculó multiplicando el número de testigos cilíndricos y prismáticos a realizar por su volumen e incluyendo un factor de holgura igual a 1.5 como se muestra a continuación:

$$Volumen\ de\ un\ Cilindro = \frac{\pi \times D^2}{4} \times h$$

**Ecuación 14. Volumen de un cilindro**

Donde:

Diámetro de testigo cilíndrico (D): 0.15 m

Altura del testigo cilíndrico (h): 0.30 m

Volumen de un testigo cilíndrico: 0.0053 m<sup>3</sup>

$$Volumen\ de\ un\ prisma = Ab \times h$$

**Ecuación 15. Volumen de un prisma**

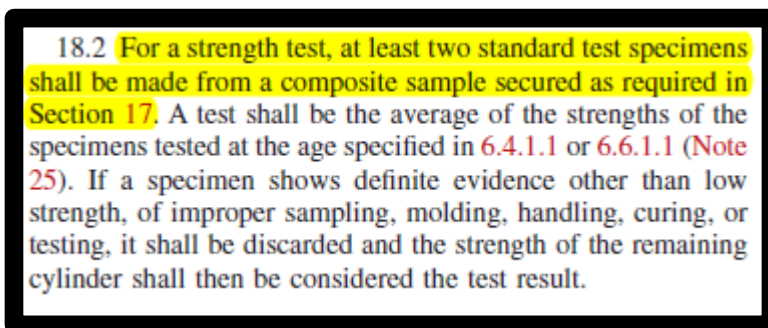
Donde:

Área de Base = 0.1524m x 0.1524m = 0.023 m<sup>2</sup>

H= Altura = 0.5334 m

Volumen del testigo prismático= 0.056 m<sup>3</sup>

Multiplicando los volúmenes por 4 cilindros y 4 vigas más el factor de holgura se obtiene un volumen a batir de 0.10m<sup>3</sup> por mezcla. Cabe mencionar que para definir el número de testigos a realizar se tomó la recomendación del ACI C94, el cual indica en la sección 18 inciso 2 que se deben tomar al menos 2 pruebas en el día de la resistencia esperada, es decir dos testigos a los 7 días y dos a los 28 días. Lo anterior se puede observar en la ilustración 34.



**Ilustración 34. Captura de pantalla tomada del ACI C94**

Fuente: ACI-C94/C94M

Hecho la proporción de mezcla y comprobando que el agregado cumple con los análisis gráficos presentados. A continuación, se procede a realizar las correcciones por humedad para cada uno de los agregados gruesos y finos. Es importante tomar en cuenta que el valor de humedad debe ser el del día en que se realizará la mezcla y este es válido hasta un periodo máximo de 8 horas, posterior a su obtención. Para el cálculo de peso corregido se utilizarán las siguientes formulas:

$$\text{Peso Humedo de un Agregado} = \text{Peso Seco} \times \left(1 + \frac{\%Humedad}{100}\right)$$

**Ecuación 16. Peso Húmedo de un agregado**

Fuente: Manual de Laboratorio UNITEC

$$\text{Agua Libre} = \frac{\text{Peso Seco}}{1 + \frac{\%Humedad}{100}} \times \frac{\%Humedad - \%Absorción}{100}$$

**Ecuación 17. Agua Libre para un agregado**

Fuente: Manual de Laboratorio UNITEC

$$\text{Agua Libre total} = \text{Agua Libre AG1} + \text{Agua Libre AG2} + \text{Agua Libre AF}$$

### Ecuación 18. Agua Libre total

Fuente: Manual de Laboratorio UNITEC

$$\text{Agua de Mezclado} = \text{Agua de Diseño} - \text{Agua Libre total}$$

### Ecuación 19. Agua de Mezclado Final

#### 5.8.1 MEZCLA CONTROL 1

Este diseño representa el control contra el que se compararán los resultados obtenidos de la mezcla de concreto reciclado 1. Para este diseño se utilizará 45% de agregado grueso tamaño 4 (1 1/2") y 55% de agregado grueso tamaño 6 (3/4 "). El procedimiento para el diseño de proporciones de una mezcla es el siguiente:

##### 1) Contenido de agua

Para un revenimiento de 2 pulgadas con un tamaño máximo nominal de 1 1/2 ", se ubica el valor adecuado de agua en kg/m<sup>3</sup> en la tabla 32. El valor obtenido es de 166kg de agua por metro cúbico de concreto.

##### 2) Relación agua – cemento

El valor de la relación se obtiene de la tabla 33. Para un esfuerzo a compresión a los 28 días de 290kgf/cm<sup>2</sup> con aire incluido se realiza una interpolación entre los valores de 280 y 350 ,obteniendo el siguiente resultado:

350    0.48

290    x

280    0.57

$$\frac{x - 0.48}{290 - 350} = \frac{0.57 - 0.48}{280 - 350}$$

$$x = 0.557$$

##### 3) Contenido de cemento



Para conocer cuál será el contenido de cemento en la mezcla se divide la cantidad de agua entre la relación agua-cemento obtenida en el paso 2.

$$\frac{\left(\frac{166kg}{m^3}\right)}{0.557} = 302kg/m^3$$

El resultado son 302 kg de cemento por metro cúbico de concreto.

#### 4) Contenido de Agregado Grueso

Se encuentra el valor de volumen de agregado grueso por unitario de concreto para diferentes módulos de finura del agregado fino en la tabla 34.

Para un tamaño máximo nominal de agregado de 1 ½ "y un módulo de finura del agregado fino igual a 2.7 se realiza una interpolación, obteniendo:

2.6 0.73

2.7 x

2.8 0.71

$$\frac{x - 0.73}{2.7 - 2.6} = \frac{0.71 - 0.73}{2.8 - 2.6}$$

$$x = 0.72$$

Se multiplica el valor de 0.72 por su peso volumétrico compactado obtenido en la sección 5.3.3

$$\text{Agregado Grueso} = 0.72 \times 1632.08$$

$$\text{Agregado Grueso} = 1175.1 \frac{kg}{m^3}$$

#### 5) Cálculo de volumen de cemento

Se divide cantidad cemento entre su densidad para calcular volumen de cemento.

$$\frac{302kg}{3.15 \text{ gr/cm}^3 \times 1000} = 0.095m^3$$

#### 6) Cálculo de volumen de agua

Se divide cantidad de agua entre su densidad para calcular el volumen de agua.

$$\frac{166kg}{1000kg/m^3} = 0.166m^3$$

7) Cálculo de volumen de agregado grueso

Para el agregado tamaño 6 ( $\frac{3}{4}$ " se divide el 55% de cantidad de agregado grueso entre su gravedad específica obtenida en la sección 5.3.1.

$$0.55 \times 1175.1 \frac{kg}{m^3} = 646kg$$

$$\frac{646kg}{2670} = 0.2420m^3$$

De la misma manera, para el agregado tamaño 4 se divide el 45% de cantidad de agregado grueso entre su gravedad específica la cual es la misma que la del tamaño 6.

$$0.45 \times 1175.1 \frac{kg}{m^3} = 529kg$$

$$\frac{529kg}{2700} = 0.1959m^3$$

8) Cálculo de volumen de aire incluido

$$\text{Aire } 1\% = 0.01 = 0.01m^3$$

9) Cálculo de volumen y contenido de agregado fino

Restar al metro cúbico la suma de volumen de agregado grueso, cemento, agua y aire.

$$1m^3 - 0.7089m^3 = 0.2911m^3$$

Contenido Arena

Multiplicar volumen de arena por su densidad.

$$0.2911m^3 \times 2600 = 756kg/m^3$$

10) Resultados iniciales de proporciones de mezcla control 1

**Tabla 35. Resultados iniciales de pesos para mezcla control 1**

Propocionamiento de mezcla inicial		
	Unidades	Cantidad
Cemento HE	kg	302

Arena	kg	756
A.G Tamaño 6	kg	646
A.G Tamaño 4	kg	529
Agua	lt	166

Fuente: Propia

### 5.8.1.1 Análisis para combinación granulométrica de agregados en mezcla control 1

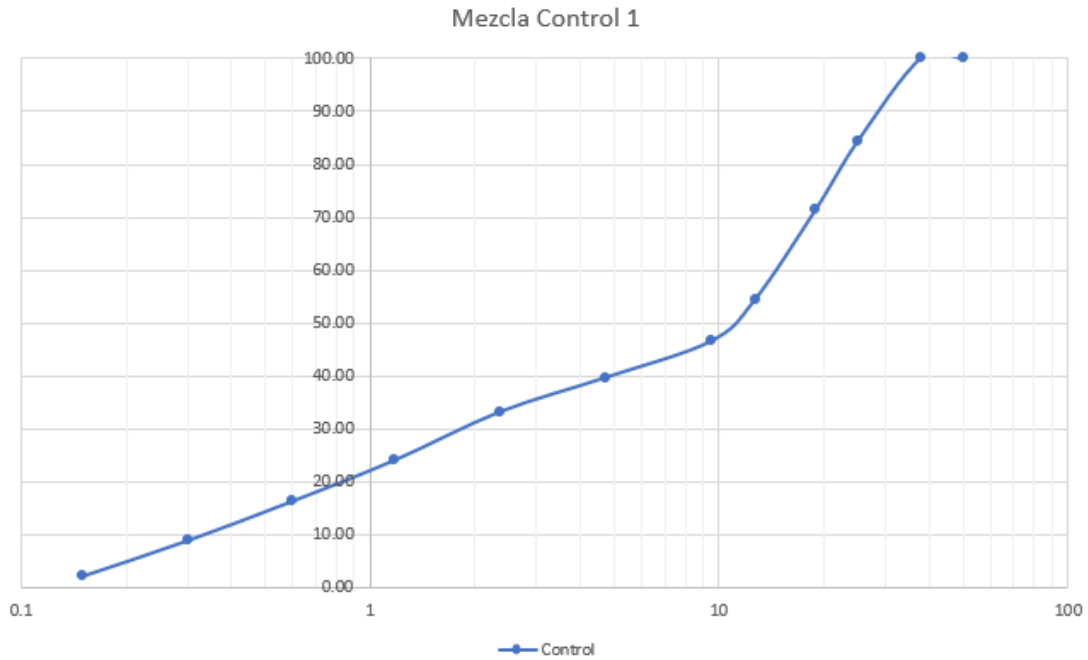
Para realizar la combinación de 3 agregados se necesita conocer el porcentaje de participación de cada uno de ellos en el volumen total de los agregados. EL volumen total de esta mezcla es 1931kg lo que corresponde a 33.47% de agregado tamaño 6, 27.38% de agregado tamaño 4 y 39.15% de agregado fino sumando un total de 100%.

**Tabla 36. Análisis de combinación granulométrica para mezcla control 1**

tamiz	mm	% de participación de los agregados			100.00%	% que pasa	Retenido	
		27.38%	33.47%	39.15%			Combinada	Acumulado
		45.00%	55.00%		100.00%			
		1 1/2"	3/4"	Arena				
2"	50	100	100	100		100.00	0.00	0.00
1 1/2"	38	100	100	100		100.00	0.00	0.00
1"	25	42.68	100	100		84.30	15.70	15.70
3/4"	19	8.48	89.81	100		71.53	28.47	12.78
1/2"	12.7	0.78	45.03	100		54.43	45.57	17.10
3/8"	9.5	0.68	21.67	100		46.59	53.41	7.85
#4	4.75	0.6	1.49	99.81		39.74	60.26	6.85
#8	2.36	0.59	1.18	83.5		33.25	66.75	6.49
#16	1.18	0.52	1	60.4		24.12	75.88	9.12
#30	0.6	0.45	0.78	40.77		16.35	83.65	7.78
#50	0.3	0.33	0.49	22.03		8.88	91.12	7.47
#100	0.15	0.17	0.2	5.21		2.15	97.85	6.73

Fuente: Propia

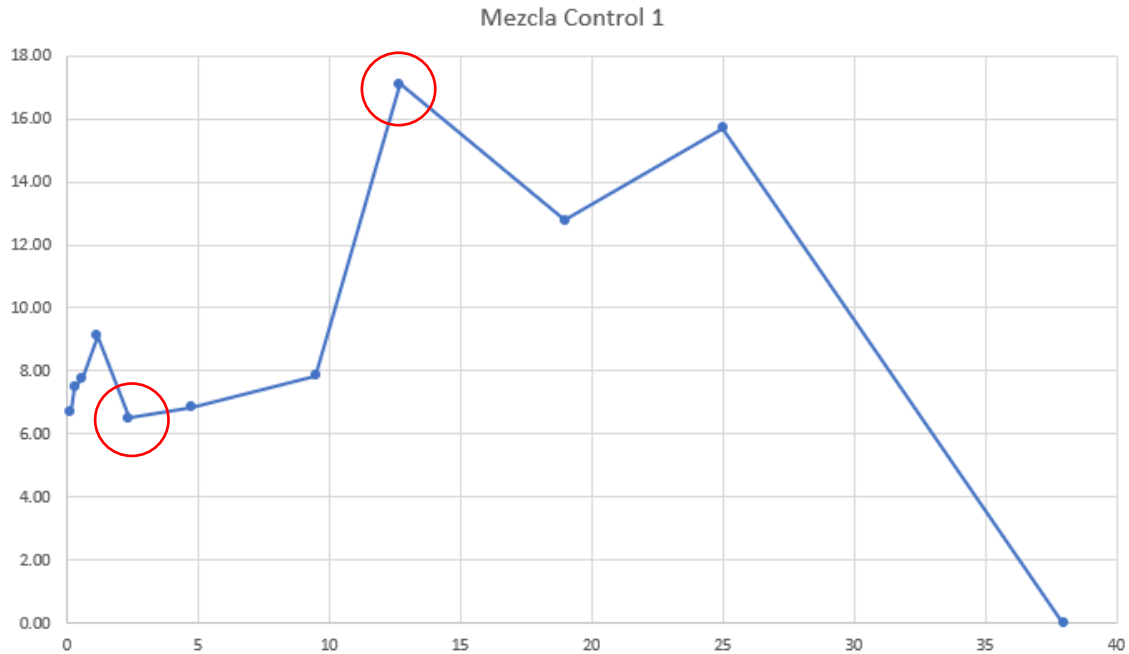
Posteriormente se grafica el tamaño de abertura por tamiz en mm contra el porcentaje combinado que pasa de los agregados esperando obtener una curva suave, como se muestra en la ilustración 35.



**Ilustración 35. Curva tamiz-Porcentaje pasado de Mezcla Control 1**

Fuente: Propia

Igualmente se grafica el porcentaje retenido individual contra la abertura por tamiz esperando obtener valores dentro de 8-20 para su aceptación según la norma ASTM C33. En caso no se pueda obtener una gráfica dentro de los valores anteriormente mencionados, se ajustarán los porcentajes de participación por agregado y que así, esté lo más cerca posible de los parámetros. La gráfica con ejes abertura(mm) -PRI (%) se muestra en la Ilustración 36.



**Ilustración 36. Gráfica abertura-PRI de Mezcla Control 1**

Fuente: Propia

Se puede observar que el valor superior es inferior a 20 mientras que el valor inferior pudo ajustarse hasta un aproximado de 6.5.

#### 5.8.1.2 Corrección de pesos por humedad de Mezcla Control 1

##### 1) Arena

Se calcula el peso húmedo y agua libre del agregado fino con un peso seco de 75.6kg, un porcentaje de humedad al momento del mezclado de 5.59% y un porcentaje de absorción de 2.34% utilizando la ecuación 16 y ecuación 17 como se muestra a continuación:

$$\text{Peso Húmedo Arena} = 75.6 \times \left(1 + \frac{5.59}{100}\right) = 79.83kg$$

$$\text{Agua libre} = \frac{75.6}{1 + \frac{5.59}{100}} \times \frac{5.59 - 2.34}{100} = 2.3269 \text{ lts}$$

##### 2) Agregado Grueso Tamaño 6 (3/4)

De la misma manera, se calcula el peso húmedo y agua libre del agregado grueso tamaño 6 con un peso seco de 64.6kg, un porcentaje de humedad al momento del mezclado de 2.66% y un porcentaje de absorción de 1.47%, utilizando la ecuación 16 y ecuación 17 como se muestra a continuación:

$$\text{Peso Húmedo AG \#6} = 64.6 \times \left(1 + \frac{2.66}{100}\right) = 66.32kg$$

$$\text{Agua libre} = \frac{64.6}{1 + \frac{2.66}{100}} \times \frac{2.66 - 1.47}{100} = 0.7488 \text{ lts}$$

### 3) Agregado grueso Tamaño 4(1 ½)

Finalmente, se calcula el peso húmedo y agua libre del agregado grueso tamaño 4 con un peso seco de 52.9kg, un porcentaje de humedad al momento del mezclado de 1.15% y un porcentaje de absorción de 1.21% utilizando nuevamente la ecuación 16 y ecuación 17, como se muestra a continuación:

$$\text{Peso Húmedo AG \#4} = 52.9 \times \left(1 + \frac{1.15}{100}\right) = 53.51kg$$

$$\text{Agua libre} = \frac{52.9}{1 + \frac{1.15}{100}} \times \frac{1.15 - 1.21}{100} = -0.0313 \text{ lts}$$

Cabe mencionar que, en caso de ser un valor negativo, el agua libre de un agregado se toma como 0.

Luego de haber obtenido el agua libre para todos los agregados, se suman para obtener el agua libre total y de esa manera el agua de mezclado final utilizando las ecuaciones 18 y 19.

$$\text{Agua libre total} = 2.32 + 0.74 + 0 = 3.07lts$$

Restándole el agua libre total a los 16.6 litros de agua de diseño para cada mezcla se obtiene el agua final de mezclado.

$$\text{Agua de mezclado final} = 16.6lts - 3.07lts = 13.52lts$$

Se presentan los resultados finales para el mezclado en concreteira de los agregados en la tabla 37.

**Tabla 37. Pesos finales para mezclado de MC-1**

Pesos para mezclado de MC-1		Unidad
Cemento HE	30.2	kg
Agregado Grueso #4	53.51	kg
Agregado Grueso #6	66.32	kg
Arena	79.83	kg
Agua	13.52	lt
Aditivo R100	4	oz

Fuente: Propia

### 5.8.2 MEZCLA 1 CON SUSTITUCIÓN DE TMA POR RCD

Este diseño consta de la mezcla 1 de concreto reciclado. Para este diseño se utilizará 45% de agregado grueso tamaño 4 (1 1/2") proveniente de RCD y 55% de agregado grueso tamaño 6 (3/4"). El procedimiento para el diseño de proporcionamiento de una mezcla es el siguiente:

#### 1) Contenido de agua

Para un revenimiento de 2 pulgadas con un tamaño máximo nominal de 1 1/2", se ubica el valor adecuado de agua en kg/m<sup>3</sup> en la tabla 32. El valor obtenido es de 166kg de agua por metro cúbico de concreto.

#### 2) Relación agua – cemento

El valor de la relación se obtiene de la tabla 33. Para un esfuerzo a compresión a los 28 días de 290kgf/cm<sup>2</sup> con aire incluido se realiza una interpolación entre los valores de 280 y 350 obteniendo el siguiente resultado:

350    0.48

290    x

280    0.57

$$\frac{x - 0.48}{290 - 350} = \frac{0.57 - 0.48}{280 - 350}$$

$$x = 0.557$$

### 3) Contenido de cemento

Para conocer cuál será el contenido de cemento en la mezcla, se divide la cantidad de agua entre la relación agua-cemento obtenida en el paso 2.

$$\frac{\left(\frac{166kg}{m^3}\right)}{0.557} = 302kg/m^3$$

El resultado son 302 kg de cemento por metro cúbico de concreto.

### 4) Contenido de Agregado Grueso

Se encuentra el valor de volumen de agregado grueso por unitario de concreto para diferentes módulos de finura del agregado fino en la tabla 34.

Para un tamaño máximo nominal de agregado de 1 ½ "y un módulo de finura del agregado fino igual a 2.7, se realiza una interpolación obteniendo:

2.6    0.73

2.7    x

2.8    0.71

$$\frac{x - 0.73}{2.7 - 2.6} = \frac{0.71 - 0.73}{2.8 - 2.6}$$

$$x = 0.72$$

Se multiplica el valor de 0.72 por su peso volumétrico compactado obtenido en la sección 5.4.3

$$\text{Agregado Grueso} = 0.72 \times 1308.55$$

$$\text{Agregado Grueso} = 942.156 \frac{kg}{m^3}$$

### 5) Cálculo de volumen de cemento

Se divide cantidad cemento entre su densidad para calcular volumen de cemento.

$$\frac{302kg}{3.15 \text{ gr/cm}^3 \times 1000} = 0.095m^3$$

### 6) Cálculo de volumen de agua



Se divide cantidad de agua entre su densidad para calcular el volumen de agua.

$$\frac{166kg}{1000kg/m^3} = 0.166m^3$$

7) Cálculo de volumen de agregado grueso

Para el agregado tamaño 6 ( $\frac{3}{4}$ " ) se divide el 55% de cantidad de agregado grueso entre su gravedad específica obtenida en la sección 5.3.1.

$$0.55 \times 1175.1 \frac{kg}{m^3} = 518.18kg$$

$$\frac{518.18kg}{2670} = 0.1941m^3$$

De la misma manera, para el agregado tamaño 4( $1 \frac{1}{2}$ " ) de RCD se divide el 45% de cantidad de agregado grueso entre su gravedad específica obtenida en la sección 5.4.3.

$$0.45 \times 1175.1 \frac{kg}{m^3} = 423.97kg$$

$$\frac{423.97kg}{2660} = 0.1599m^3$$

8) Cálculo de volumen de aire incluido

$$\text{Aire } 1\% = 0.01 = 0.01m^3$$

9) Cálculo de volumen y contenido de agregado fino

Restar al metro cúbico la suma de volumen de agregado grueso, cemento, agua y aire.

$$1m^3 - 0.625m^3 = 0.375m^3$$

Contenido Arena

Multiplicar volumen de arena por su densidad.

$$0.375 m^3 \times 2600 = 975kg/m^3$$

10) Resultados iniciales de proporcionamiento

**Tabla 38. Resultados iniciales de pesos para mezcla 1 con RCD**

**Propocionamiento de mezcla inicial**

	Unidades	Cantidad
Cemento HE	kg	302
Arena	kg	975
A.G Tamaño 6	kg	518
A.G Tamaño 4 RCD	kg	424
Agua	lt	166

Fuente: Propia

### 5.8.2.1 Análisis para combinación granulométrica de agregados en mezcla 1 con RCD

Como se mencionó anteriormente, para realizar la combinación de 3 agregados se necesita conocer el porcentaje de participación de cada uno de ellos en el volumen total de los agregados. El volumen total de esta mezcla es 1917kg lo que corresponde a 27.02% de agregado tamaño 6, 22.11% de agregado tamaño 4 reciclado y 50.86% de agregado fino sumando un total de 100%.

**Tabla 39. Análisis de combinación granulométrica para mezcla 1 con RCD**

tamiz	mm	Agregados			100.00%	% que pasa		Reten
		27.00%	33.00%	40.00%		Combinada	Acumulado	
		45.00%	55.00%					
		1 1/2" RCD	3/4"	Arena				
2"	50	100.00	100	100		100.00		0.00
1 1/2"	38	100.00	100	100		100.00		0.00
1"	25	41.29	100	100		84.15		15.85
3/4"	19	9.47	89.81	100		72.19		27.81
1/2"	12.7	1.55	45.03	100		55.28		44.72
3/8"	9.5	1.37	21.67	100		47.52		52.48
#4	4.75	1.05	1.49	99.81		40.70		59.30
#8	2.36	0.95	1.18	83.5		34.05		65.95
#16	1.18	0.84	1	60.4		24.72		75.28
#30	0.6	0.68	0.78	40.77		16.75		83.25
#50	0.3	0.43	0.49	22.03		9.09		90.91
#100	0.15	0.19	0.2	5.21		2.20		97.80

Fuente: Propia

En este caso, por ser la mezcla que se evaluará en base al control 1, se ajustan los porcentajes de participación de los agregados con el fin de obtener curvas similares a las del control. Dicho lo anterior, se concluyó que los porcentajes finales serán de 27% agregado grueso tamaño 4 reciclado, 33% agregado grueso tamaño 6 y 40% arena. Hecho el ajuste, se necesita recalcular los pesos iniciales de diseño, los cuales se muestran en la tabla 40.

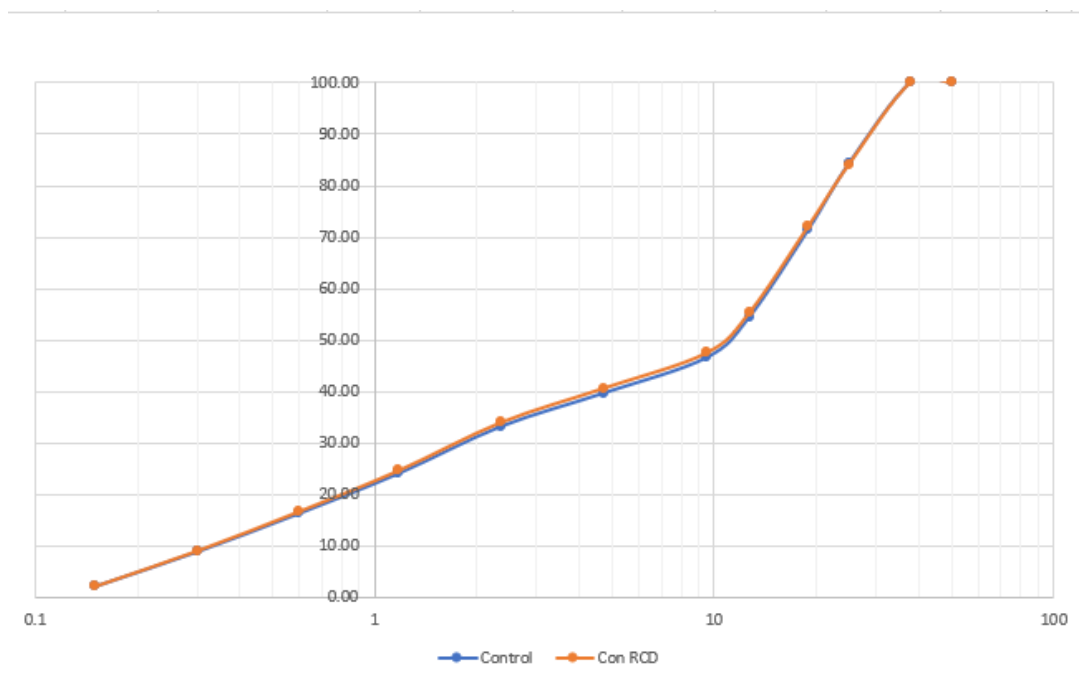
**Tabla 40. Pesos iniciales corregidos de mezcla 1 con RCD**

Proporciónamiento de mezcla inicial corregida		
	Unidades	Cantidad

Cemento HE	kg	302
Arena	kg	766.86
A.G Tamaño 6	kg	632.66
A.G Tamaño 4 RCD	kg	517.63
Agua	lt	166

Fuente: Propia

Posteriormente, se grafica el tamaño de abertura por tamiz en mm contra el porcentaje que pasa combinado de los agregados esperando obtener una curva suave y similar al control como se muestra en la ilustración 37.



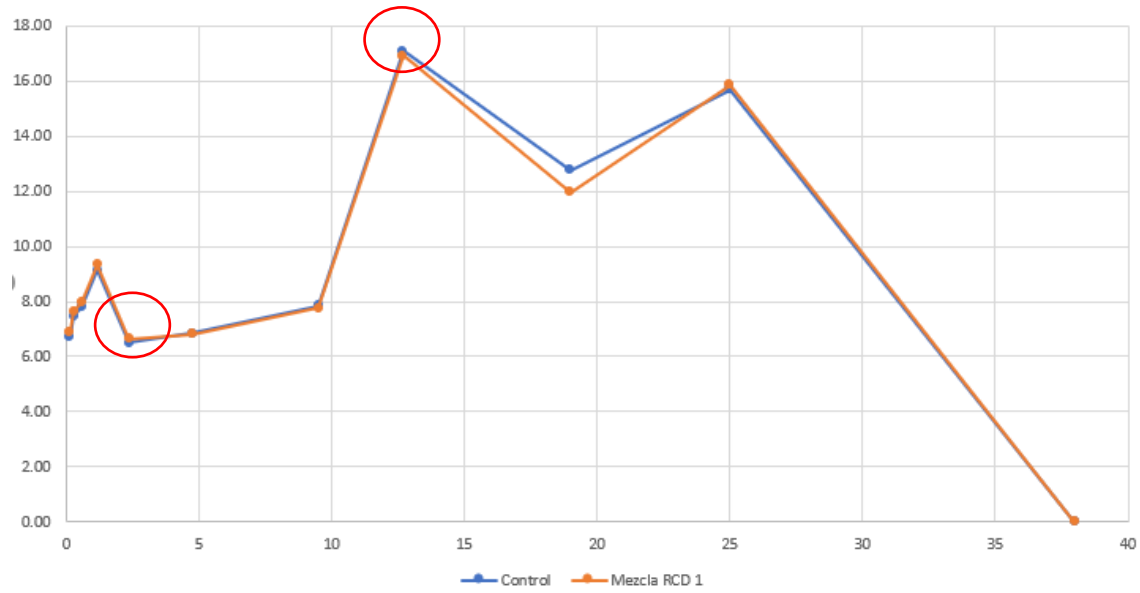
**Ilustración 37. Curva tamiz-Porcentaje pasado de Mezcla 1 con RCD**

Fuente: Propia

Se puede observar que la curva naranja que representa la mezcla con concreto reciclado la cual es muy similar a la del control. Se concluye que la combinación con material reciclado es adecuada y se utilizará.

Nuevamente, se grafica el porcentaje retenido individual contra la abertura por tamiz esperando obtener valores dentro de 8-20 para su aceptación según la norma ASTM C33. En caso no se pueda obtener una gráfica dentro de los valores anteriormente mencionados, se ajustarán los

porcentajes de participación por agregado y que esa manera esté lo más cerca posible de los parámetros. La grafica abertura-PRI se muestra en la ilustración 38.



**Ilustración 38. Gráfica abertura-PRI de Mezcla 1 con RCD**

Fuente: Propia

Se puede observar que la gráfica naranja es muy similar a la azul la cual representa el control. Lo anterior nos indica que la combinación cumple granulométricamente y se puede utilizar.

### 5.8.2.2 Corrección de pesos por humedad de Mezcla 1 con RCD

#### 1) Arena

Se calcula el peso húmedo y agua libre del agregado fino con un peso seco de 76.68kg, un porcentaje de humedad al momento del mezclado de 5.59% y un porcentaje de absorción de 2.34% utilizando la ecuación 16 en la ecuación 17 como se muestra a continuación:

$$\text{Peso Húmedo Arena} = 76.68 \times \left(1 + \frac{5.59}{100}\right) = 80.97kg$$

$$Agua\ libre = \frac{76.68}{1 + \frac{5.59}{100}} \times \frac{5.59 - 2.34}{100} = 2.3603\ lts$$

2) Agregado Grueso Tamaño 6 (3/4)

De la misma manera, se calcula el peso húmedo y agua libre del agregado grueso tamaño 6 con un peso seco de 63.26kg, un porcentaje de humedad al momento del mezclado de 2.66% y un porcentaje de absorción de 1.47% utilizando la ecuación 16 y ecuación 17 como se muestra a continuación:

$$Peso\ Húmedo\ AG\ \#6 = 63.26 \times \left(1 + \frac{2.66}{100}\right) = 64.95kg$$

$$Agua\ libre = \frac{63.26}{1 + \frac{2.66}{100}} \times \frac{2.66 - 1.47}{100} = 0.7333\ lts$$

3) Agregado grueso Tamaño 4(1 ½) Reciclado

Finalmente, se calcula el peso húmedo y agua libre del agregado grueso tamaño 4 reciclado con un peso seco de 51.76kg, un porcentaje de humedad al momento del mezclado de 3.3% y un porcentaje de absorción de 8.3%, utilizando nuevamente la ecuación 16 y ecuación 17 como se muestra a continuación:

$$Peso\ Húmedo\ AG\ \#4\ reciclado = 51.76 \times \left(1 + \frac{3.3}{100}\right) = 53.47kg$$

$$Agua\ libre = \frac{51.76}{1 + \frac{3.3}{100}} \times \frac{3.3 - 8.3}{100} = -2.50\ lts$$

En caso de ser un valor negativo, el agua libre de un agregado se toma como 0.

Luego de haber obtenido el agua libre para todos los agregados se suman para obtener el agua libre total y de esa manera el agua de mezclado final utilizando las ecuaciones 18 y 19.

$$Agua\ libre\ total = 2.36 + 0.73 + 0 = 3.09lts$$

Restándole el agua libre total a los 16.6 litros de agua de diseño para cada mezcla se obtiene el agua final de mezclado.

$$\text{Agua de mezclado final} = 16.6\text{lbs} - 3.09\text{lbs} = 13.51\text{lbs}$$

Se presentan los resultados finales para el mezclado en concretera de los agregados en la tabla 41.

**Tabla 41. Pesos Finales de mezclado para mezcla 1 con RCD**

Pesos para mezclado de Mezcla 1		Unidad
Cemento HE	30.2	kg
Agregado Grueso #4 RCD	53.47	kg
Agregado Grueso #6	64.95	kg
Arena	80.97	kg
Agua	13.51	lt
Aditivo R100	4	oz

Fuente: Propia

### 5.8.3 MEZCLA CONTROL 2

Este diseño representa el control contra el que se compararán los resultados obtenidos de la mezcla de RCD 2 y 3 siguientes. Para este diseño se utilizará el tamaño de agregado 467. El procedimiento para el diseño de proporcionamiento de una mezcla es el siguiente:

#### 1) Contenido de agua

Para un revenimiento de 2 pulgadas con un tamaño de agregado 467, se ubica el valor adecuado de agua en kg/m<sup>3</sup> en la tabla 31. El valor obtenido es de 166kg de agua por metro cúbico de concreto.

#### 2) Relación agua – cemento

El valor de la relación se obtiene de la tabla 32. Para un esfuerzo a compresión a los 28 días de 290kgf/cm<sup>2</sup> con aire incluido se realiza una interpolación entre los valores de 280 y 350 obteniendo el siguiente resultado:

350    0.48

290    x

280 0.57

$$\frac{x - 0.48}{290 - 350} = \frac{0.57 - 0.48}{280 - 350}$$

$$x = 0.557$$

### 3) Contenido de cemento

Para conocer cuál será el contenido de cemento en la mezcla se divide la cantidad de agua entre la relación agua-cemento obtenida en el paso 2.

$$\frac{\left(\frac{166kg}{m^3}\right)}{0.557} = 302kg/m^3$$

El resultado son 302 kg de cemento por metro cúbico de concreto.

### 4) Contenido de Agregado Grueso

Se encuentra el valor de volumen de agregado grueso por unitario de concreto para diferentes módulos de finura del agregado fino en la tabla 33.

Para un tamaño de agregado 467 y un módulo de finura del agregado fino igual a 2.7 se realiza una interpolación obteniendo:

2.6 0.73

2.7 x

2.8 0.71

$$\frac{x - 0.73}{2.7 - 2.6} = \frac{0.71 - 0.73}{2.8 - 2.6}$$

$$x = 0.72$$

Se multiplica el valor de 0.72 por su peso volumétrico compactado obtenido en la sección 5.5.3

$$\text{Agregado Grueso} = 0.72 \times 1693.632$$

$$\text{Agregado Grueso} = 1219.41 \frac{kg}{m^3}$$

### 5) Cálculo de volumen de cemento

Se divide cantidad cemento entre su densidad para calcular volumen de cemento.

$$\frac{302kg}{3.15 \text{ gr/cm}^3 \times 1000} = 0.095m^3$$

6) Cálculo de volumen de agua

Se divide cantidad de agua entre su densidad para calcular el volumen de agua.

$$\frac{166kg}{1000kg/m^3} = 0.166m^3$$

7) Cálculo de volumen de agregado grueso

Para el agregado tamaño 467 se divide la cantidad de agregado grueso entre su gravedad específica obtenida en la sección 5.5.1.

$$\frac{1219.41kg}{2740} = 0.4450 m^3$$

8) Cálculo de volumen de aire incluido

$$\text{Aire } 1\% = 0.01 = 0.01m^3$$

9) Cálculo de volumen y contenido de agregado fino

Restar al metro cúbico la suma de volumen de agregado grueso, cemento, agua y aire.

$$1m^3 - 0.716m^3 = 0.284m^3$$

Contenido Arena

Multiplicar volumen de arena por su densidad.

$$0.284 m^3 \times 2600 = 738.4 kg/m^3$$

10) Resultados iniciales de proporcionamiento

**Tabla 42. Resultados iniciales para mezcla control 2**

Proporcionamiento de mezcla inicial		
	Unidades	Cantidad
Cemento	kg	302
Arena	kg	738.4
A.G. 467	kg	1219
Agua	lt	166

Fuente: Propia



### 5.8.3.1 Análisis de combinación granulométrica en mezcla control 2

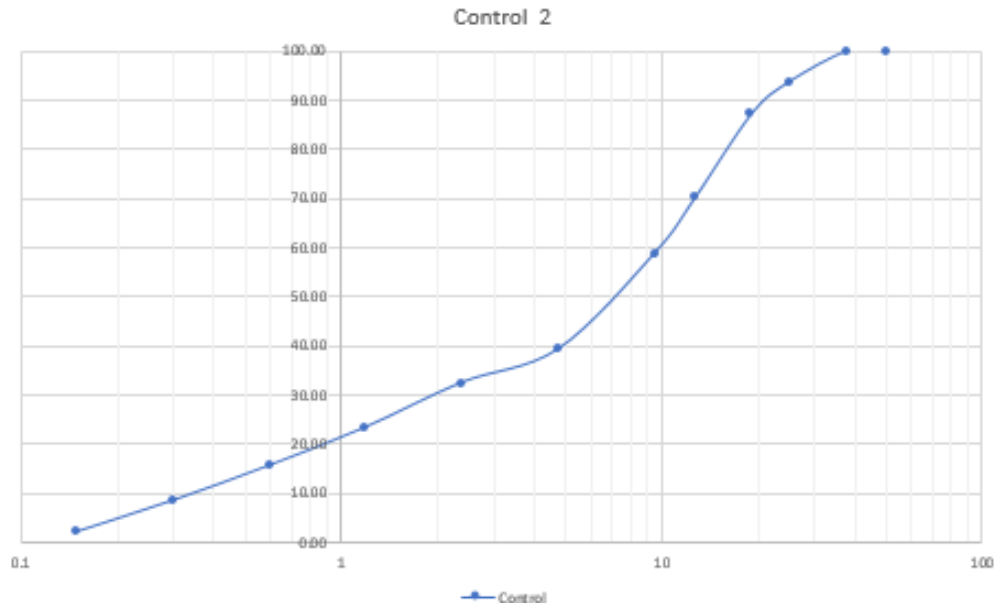
Para realizar la combinación de 2 agregados se necesita conocer el porcentaje de participación de cada uno de ellos en el volumen total de los agregados. El volumen total de esta mezcla es 1256.4kg lo que corresponde a 58.77% de agregado 467, 41.23% de agregado fino sumando un total de 100%.

**Tabla 43. Análisis de combinación granulométrica para mezcla control 2**

		Agregados						
		62.31%	0.00%	37.69%	<b>100.00%</b>	% que pasa	Retenida	
		100.00%	0.00%		<b>100.00%</b>			
tamiz	mm	1 1/2" Comb	1/2" comb. RCD	Arena		Combinada	Acumulada	Individual
2"	50	100	0	100		100.00	0.00	0.00
1 1/2"	38	100	0	100		100.00	0.00	0.00
1"	25	89.94	0	100		93.73	6.27	6.27
3/4"	19	79.36	0	100		87.14	12.86	6.59
1/2"	12.7	52.11	0	100		70.16	29.84	16.98
3/8"	9.5	34	0	100		58.88	41.12	11.28
#4	4.75	2.69	0	99.81		39.29	60.71	19.58
#8	2.36	1.47	0	83.5		32.39	67.61	6.91
#16	1.18	0.74	0	60.4		23.23	76.77	9.16
#30	0.6	0.4	0	40.77		15.62	84.38	7.61
#50	0.3	0.25	0	22.03		8.46	91.54	7.16
#100	0.15	0.14	0	5.21		2.05	97.95	6.41

Fuente: Propia

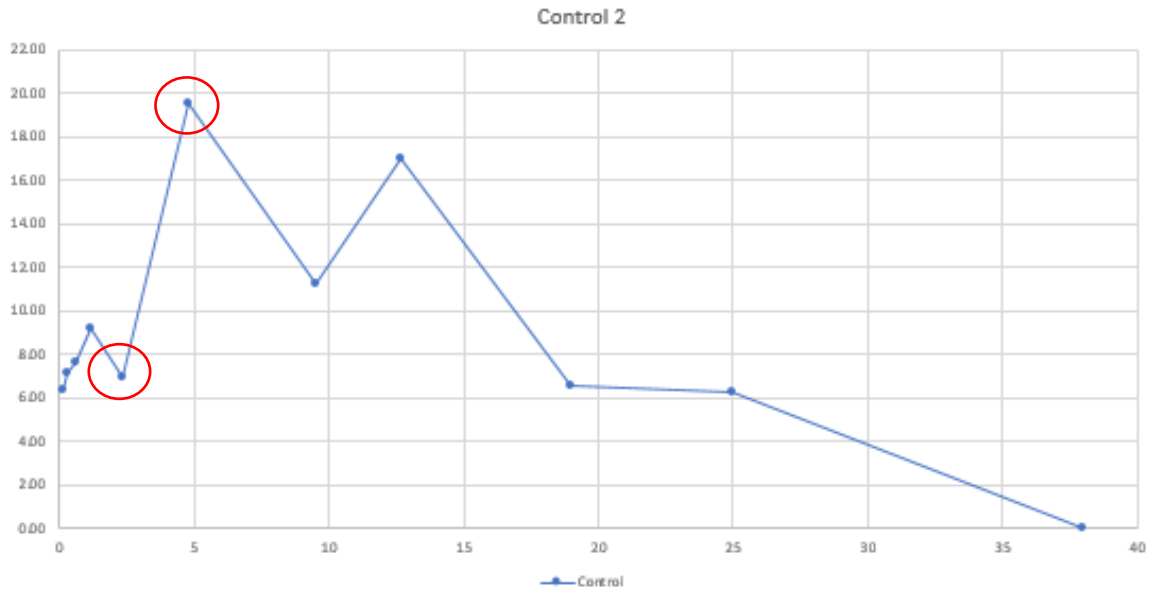
Posteriormente se grafica el tamaño de abertura por tamiz en mm contra el porcentaje que pasa combinado de los agregados esperando obtener una curva suave como se muestra en la Ilustración 39.



**Ilustración 39. Curva tamiz- Porcentaje pasado de Mezcla Control 2**

Fuente: Propia

Igualmente se grafica el porcentaje retenido individual contra la abertura por tamiz esperando obtener valores dentro de 8-20 para su aceptación según la norma ASTM C33. En caso que no se pueda obtener una gráfica dentro de los valores anteriormente mencionados se ajustarán los porcentajes de participación por agregado para que de esa forma esté lo más cerca posible de los parámetros. La grafica abertura-PRI se muestra en la ilustración 40.



**Ilustración 40. Grafica abertura-PRI de Mezcla Control 2**

Fuente: Propia

Se puede observar que el valor superior es inferior a 20 mientras que el valor inferior pudo ajustarse hasta un aproximado de 6.5.

#### 5.8.1.2 Corrección de pesos por humedad de Mezcla Control 2

##### 1) Arena

Se calcula el peso húmedo y agua libre del agregado fino con un peso seco de 73.8kg, un porcentaje de humedad al momento del mezclado de 10.86% y un porcentaje de absorción de 2.34% utilizando la ecuación 15 y ecuación 16 como se muestra a continuación:

$$\text{Peso Húmedo Arena} = 73.8 \times \left(1 + \frac{10.86}{100}\right) = 81.81\text{kg}$$

$$\text{Agua libre} = \frac{73.8}{1 + \frac{10.86}{100}} \times \frac{10.86 - 2.34}{100} = 5.63\text{ lts}$$

##### 2) Agregado grueso 467

Finalmente, se calcula el peso húmedo y agua libre del agregado grueso tamaño 467 con un peso seco de 121.95kg, un porcentaje de humedad al momento del mezclado de 2.7% y un porcentaje de absorción de 1.7% utilizando nuevamente la ecuación 15 y ecuación 16 como se muestra a continuación:

$$\text{Peso Húmedo AG 467} = 121.95 \times \left(1 + \frac{2.7}{100}\right) = 125.242\text{kg}$$

$$\text{Agua libre} = \frac{121.95}{1 + \frac{2.7}{100}} \times \frac{2.7 - 1.7}{100} = 1.18\text{ lts}$$

Cabe mencionar que, en caso de ser un valor negativo, el agua libre de un agregado se toma como 0.

Luego de haber obtenido el agua libre para todos los agregados, se suman para obtener el agua libre total y de esa manera el agua de mezclado final utilizando las ecuaciones 17 y 18.

$$\text{Agua libre total} = 5.63 + 1.18 = 6.81\text{lts}$$

Restándole el agua libre total a los 16.6 litros de agua de diseño para cada mezcla se obtiene el agua final de mezclado.

$$\text{Agua de mezclado final} = 16.6\text{lts} - 6.81\text{lts} = 9.74\text{lts}$$

Se presentan los resultados finales para el mezclado en concretera de los agregados en **la tabla 44**.

**Tabla 44. Pesos finales para mezclado de MC-2**

Pesos para mezclado de MC-2		Unidad
Cemento HE	30.2	kg
Agregado Grueso 467	125.242	kg
Arena	81.81	kg
Agua	9.74	lt
Aditivo R100	4	oz

Fuente: Propia

#### 5.8.4 MEZCLA 2 CON 35% DE SUSTITUCIÓN

Este diseño consta de la mezcla 2 de concreto reciclado. Para este diseño se utilizará 35% de agregado grueso 467 proveniente de RCD. El procedimiento para el diseño de proporcionamiento de una mezcla es el siguiente:

##### 11) Contenido de agua

Para un revenimiento de 2 pulgadas con un tamaño de agregado 467, se ubica el valor adecuado de agua en kg/m<sup>3</sup> en la tabla 31. El valor obtenido es de 166kg de agua por metro cúbico de concreto.

##### 12) Relación agua – cemento

El valor de la relación se obtiene de la tabla 32. Para un esfuerzo a compresión a los 28 días de 290kgf/cm<sup>2</sup> con aire incluido se realiza una interpolación entre los valores de 280 y 350 obteniendo el siguiente resultado:

350    0.48

290    x

280    0.57

$$\frac{x - 0.48}{290 - 350} = \frac{0.57 - 0.48}{280 - 350}$$

$$x = 0.557$$

##### 13) Contenido de cemento

Para conocer cuál será el contenido de cemento en la mezcla se divide la cantidad de agua entre la relación agua-cemento obtenida en el paso 2.

$$\frac{\left(\frac{166kg}{m^3}\right)}{0.557} = 302kg/m^3$$

El resultado son 302 kg de cemento por metro cúbico de concreto.

##### 14) Contenido de Agregado Grueso

Se encuentra el valor de volumen de agregado grueso por unitario de concreto para diferentes módulos de finura del agregado fino en la tabla 33.

Para un tamaño agregado 467 y un módulo de finura del agregado fino igual a 2.7 se realiza una interpolación obteniendo:

2.6 0.73

2.7 x

2.8 0.71

$$\frac{x - 0.73}{2.7 - 2.6} = \frac{0.71 - 0.73}{2.8 - 2.6}$$

$$x = 0.72$$

Se multiplica el valor de 0.72 por su peso volumétrico compactado obtenido en la sección 5.6.3

$$\text{Agregado Grueso} = 0.72 \times 1578.32$$

$$\text{Agregado Grueso} = 1136.39 \frac{kg}{m^3}$$

15) Cálculo de volumen de cemento

Se divide cantidad cemento entre su densidad para calcular volumen de cemento.

$$\frac{302kg}{3.15 \text{ gr/cm}^3 \times 1000} = 0.095m^3$$

16) Cálculo de volumen de agua

Se divide cantidad de agua entre su densidad para calcular el volumen de agua.

$$\frac{166kg}{1000kg/m^3} = 0.166m^3$$

17) Cálculo de volumen de agregado grueso

Para el agregado grueso 467, se divide el 35% de cantidad de agregado grueso entre su gravedad específica obtenida en la sección 5.6.1.

$$0.35 \times 1136.39 \frac{kg}{m^3} = 397.73kg$$

$$\frac{397.73kg}{2750} = 0.1446m^3$$

De la misma manera, para el agregado tamaño 467 de RCD se divide el 65% de cantidad de agregado grueso entre su gravedad específica obtenida en la sección 5.6.1.

$$0.65 \times 1136.39 \frac{kg}{m^3} = 738.65kg$$

$$\frac{738.65kg}{2750} = 0.2686m^3$$

18) Cálculo de volumen de aire incluido

$$\text{Aire } 1\% = 0.01 = 0.01m^3$$

19) Cálculo de volumen y contenido de agregado fino

Restar al metro cúbico la suma de volumen de agregado grueso, cemento, agua y aire.

$$1m^3 - 0.6842 = 0.3158m^3$$

Contenido Arena

Multiplicar volumen de arena por su densidad.

$$0.3158 m^3 \times 2600 = 821.08kg/m^3$$

20) Resultados iniciales de proporcionamiento

**Tabla 45. Resultados iniciales de pesos para mezcla 2 con RCD**

Propocionamiento de mezcla inicial		
	Unidades	Cantidad
Cemento HE	kg	302
Arena	kg	821
A.G 467 RCD	kg	398
A.G 467	kg	739
Agua	lt	166

Fuente: Propia

### 5.8.2.1 Análisis para combinación granulométrica de agregados en mezcla 2 con RCD

Como se mencionó anteriormente, para realizar la combinación de 3 agregados se necesita conocer el porcentaje de participación de cada uno de ellos en el volumen total de los agregados. EL volumen total de esta mezcla es 1958kg lo que corresponde a 20.32% de agregado tamaño 467 reciclado, 37.74% de agregado tamaño 467 ordinario y 41.93%% de agregado fino sumando un total de 100%.

**Tabla 46. Análisis de combinación granulométrica para mezcla 2 con 35% de RCD**

tamiz	mm	Agregados			100.00%	% que pasa	Retenida	
		22.40%	41.60%	36.00%			Combinada	Acumulado Individual
		35.00%	65.00%	100.00%				
		1 1/2" comb. RCD	1/2" comb	Arena				
2"	50	100.00	100	100		100.00	0.00	0.00
1 1/2"	38	100.00	100	100		100.00	0.00	0.00
1"	25	85.89	89.94	100		92.65	7.35	7.35
3/4"	19	71.52	79.36	100		85.03	14.97	7.62
1/2"	12.7	44.82	52.11	100		67.72	32.28	17.32
3/8"	9.5	29.10	34	100		56.66	43.34	11.06
#4	4.75	3.17	2.69	99.81		37.76	62.24	18.90
#8	2.36	1.63	1.47	83.5		31.04	68.96	6.72
#16	1.18	0.75	0.74	60.4		22.22	77.78	8.82
#30	0.6	0.39	0.4	40.77		14.93	85.07	7.29
#50	0.3	0.22	0.25	22.03		8.08	91.92	6.85
#100	0.15	0.11	0.14	5.21		1.96	98.04	6.13

Fuente: Propia

En este caso, por ser la mezcla que se evaluará en base al control 2, se ajustan los porcentajes de participación de los agregados con el fin de obtener curvas similares a las del control. Dicho lo anterior se concluyó que los porcentajes finales serán de 22.40% agregado grueso tamaño 467 reciclado, 41.60% agregado grueso tamaño 467 ordinario y 36% de arena. Hecho el ajuste, se necesita recalcular los pesos iniciales de diseño, los cuales se muestran en la **tabla 47**.

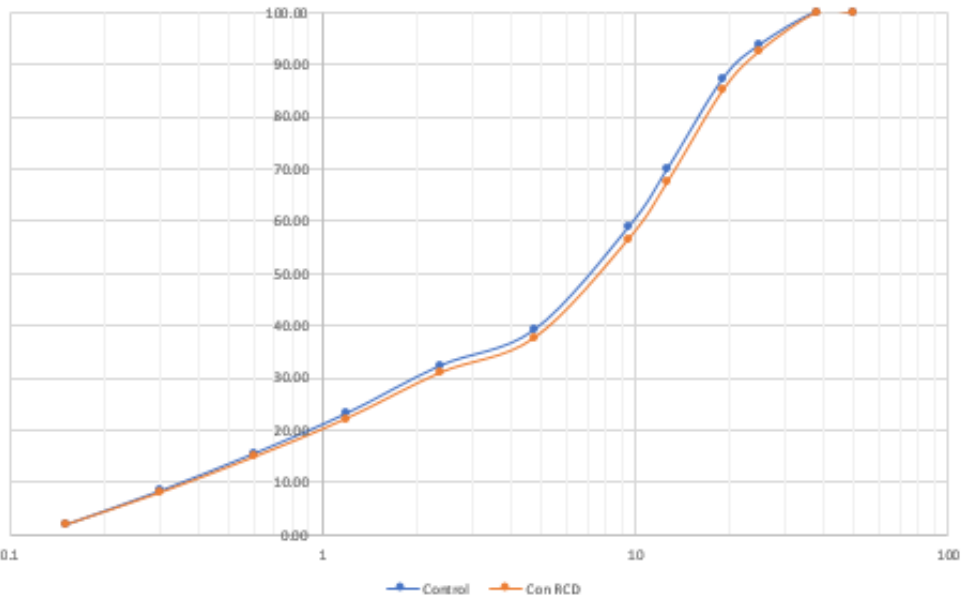
**Tabla 47. Pesos iniciales corregidos de mezcla 2 con RCD**



Proporciónamiento de mezcla inicial corregida		
	Unidades	Cantidad
Cemento HE	kg	302
Arena	kg	744.04
A.G 467 RCD	kg	424.88
A.G 467	kg	789.07
Agua	lt	166

Fuente: Propia

Posteriormente, se grafica el tamaño de abertura por tamiz en mm contra el porcentaje que pasa combinado de los agregados esperando obtener una curva suave y similar al control como se muestra en la **ilustración 41**.



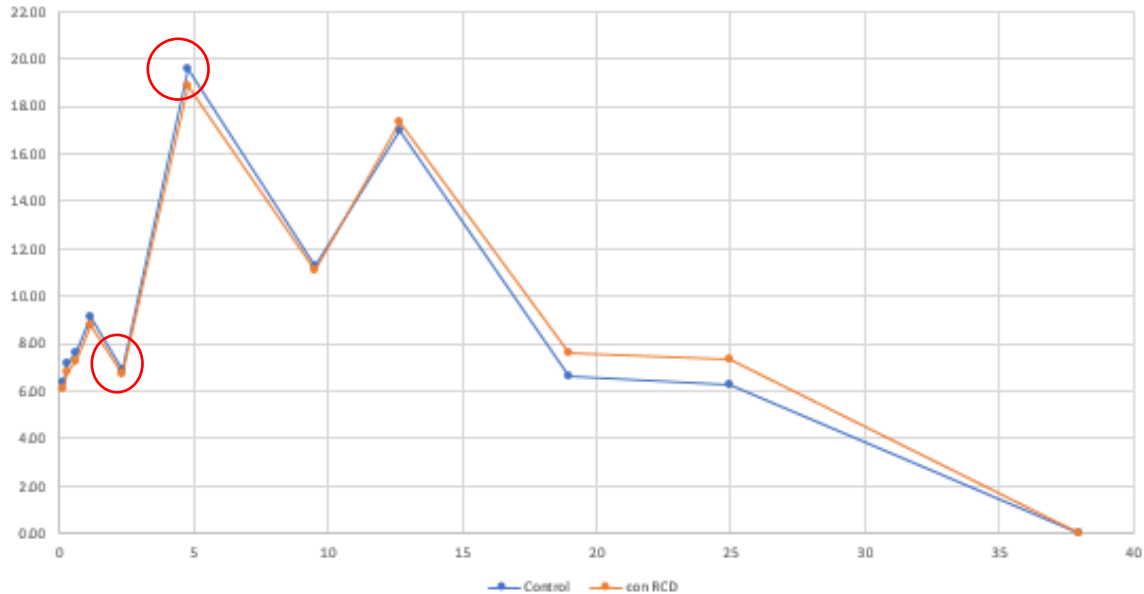
**Ilustración 41. Curva tamiz- Porcentaje pasado de Mezcla 2**

Fuente: Propia

Se puede observar que la curva naranja, la cual representa la mezcla con concreto reciclado es muy similar a la del control. Se concluye que la combinación con material reciclado es adecuada y se utilizará.

Nuevamente, se grafica el porcentaje retenido individual contra la abertura por tamiz esperando obtener valores dentro de 8-20 para su aceptación según la norma ASTM C33. En caso no se pueda obtener una gráfica dentro de los valores anteriormente mencionados se ajustarán los

porcentajes de participación por agregado y que esa manera esté lo más cerca posible de los parámetros. La grafica abertura-PRI se muestra en la **ilustración 42**.



**Ilustración 42. Gráfica abertura-PRI de Mezcla 2**

Fuente: Propia

Se puede observar que la gráfica naranja es muy similar a la azul la cual representa el control. Lo anterior nos indica que la combinación cumple granulométricamente y se puede utilizar.

#### 5.8.2.2 Corrección de pesos por humedad de Mezcla 2 con RCD

##### 4) Arena

Se calcula el peso húmedo y agua libre del agregado fino con un peso seco de 74.404kg, un porcentaje de humedad al momento del mezclado de 10.86% y un porcentaje de absorción de 2.34% utilizando la ecuación 15 y ecuación 16 como se muestra a continuación:

$$\text{Peso Húmedo Arena} = 74.404 \times \left(1 + \frac{10.86}{100}\right) = 82.484\text{kg}$$

$$\text{Agua libre} = \frac{74.404}{1 + \frac{10.86}{100}} \times \frac{10.86 - 2.34}{100} = 5.7181 \text{ lts}$$

5) Agregado Grueso Tamaño 467 RCD

De la misma manera, se calcula el peso húmedo y agua libre del agregado grueso tamaño 467 con un peso seco de 42.488kg, un porcentaje de humedad al momento del mezclado de 2.8% y un porcentaje de absorción de 3.1% utilizando la ecuación 15 y ecuación 16 como se muestra a continuación:

$$\text{Peso Húmedo AG 467 reciclado} = 42.488 \times \left(1 + \frac{2.8}{100}\right) = 43.677kg$$

$$\text{Agua libre} = \frac{42.488}{1 + \frac{2.8}{100}} \times \frac{2.8 - 3.1}{100} = -0.12399 \text{ lts}$$

En caso de ser negativo, el valor de agua libre se toma como 0.

6) Agregado grueso Tamaño 467 ordinario

Finalmente, se calcula el peso húmedo y agua libre del agregado grueso tamaño 467 ordinario con un peso seco de 78.907kg, un porcentaje de humedad al momento del mezclado de 2.7% y un porcentaje de absorción de 1.7% utilizando nuevamente la ecuación 15 y ecuación 16 como se muestra a continuación:

$$\text{Peso Húmedo AG 467} = 78.90 \times \left(1 + \frac{2.7}{100}\right) = 78.03kg$$

$$\text{Agua libre} = \frac{78.90}{1 + \frac{2.7}{100}} \times \frac{2.7 - 1.7}{100} = 0.7682 \text{ lts}$$

Luego de haber obtenido el agua libre para todos los agregados, se suman para obtener el agua libre total y de esa manera el agua de mezclado final utilizando las ecuaciones 17 y 18.

$$\text{Agua libre total} = 5.7181 + 0 + 0.7682 = 6.486\text{lts}$$

Restándole el agua libre total a los 16.6 litros de agua de diseño para cada mezcla se obtiene el agua final de mezclado.

$$\text{Agua de mezclado final} = 16.6\text{lts} - 6.486\text{lts} = 10.114\text{lts}$$

Se presentan los resultados finales para el mezclado en concretera de los agregados en la **tabla 48**.

**Tabla 48. Pesos Finales de mezclado para mezcla 2 con RCD**

Pesos para mezclado de Mezcla 2		Unidad
Cemento HE	30.2	kg
Agregado Grueso 467 RCD	43.677	kg
Agregado Grueso 467	78.03	kg
Arena	82.48	kg
Agua	10.114	lt
Aditivo R100	4	oz

Fuente: Propia

#### 5.8.5 MEZCLA 3 CON 100% DE SUSTITUCIÓN

Este diseño consta de la mezcla 3 de concreto reciclado. Para este diseño se utilizará 100% de agregado grueso 467 proveniente de RCD. El procedimiento para el diseño de proporcionamiento de una mezcla es el siguiente:

##### 21) Contenido de agua

Para un revenimiento de 2 pulgadas con un tamaño de agregado 467, se ubica el valor adecuado de agua en kg/m<sup>3</sup> en la tabla 31. El valor obtenido es de 166kg de agua por metro cúbico de concreto.

##### 22) Relación agua – cemento

El valor de la relación se obtiene de la tabla 32. Para un esfuerzo a compresión a los 28 días de 290kgf/cm<sup>2</sup> con aire incluido se realiza una interpolación entre los valores de 280 y 350 obteniendo el siguiente resultado:

350	0.48
290	x
280	0.57

$$\frac{x - 0.48}{290 - 350} = \frac{0.57 - 0.48}{280 - 350}$$

$$x = 0.557$$

### 23) Contenido de cemento

Para conocer cuál será el contenido de cemento en la mezcla se divide la cantidad de agua entre la relación agua-cemento obtenida en el paso 2.

$$\frac{\left(\frac{166kg}{m^3}\right)}{0.557} = 302kg/m^3$$

El resultado son 302 kg de cemento por metro cúbico de concreto.

### 24) Contenido de Agregado Grueso

Se encuentra el valor de volumen de agregado grueso por unitario de concreto para diferentes módulos de finura del agregado fino en la tabla 33.

Para un tamaño agregado 467 y un módulo de finura del agregado fino igual a 2.7 se realiza una interpolación obteniendo:

2.6    0.73

2.7    x

2.8    0.71

$$\frac{x - 0.73}{2.7 - 2.6} = \frac{0.71 - 0.73}{2.8 - 2.6}$$

$$x = 0.72$$

Se multiplica el valor de 0.72 por su peso volumétrico compactado obtenido en la sección 5.6.3

$$\text{Agregado Grueso} = 0.72 \times 1578.32$$

$$\text{Agregado Grueso} = 1136.39 \frac{kg}{m^3}$$

### 25) Cálculo de volumen de cemento

Se divide cantidad cemento entre su densidad para calcular volumen de cemento.

$$\frac{302kg}{3.15 \text{ gr/cm}^3 \times 1000} = 0.095m^3$$

26) Cálculo de volumen de agua

Se divide cantidad de agua entre su densidad para calcular el volumen de agua.

$$\frac{166kg}{1000kg/m^3} = 0.166m^3$$

27) Cálculo de volumen de agregado grueso

Para el agregado grueso 467, se divide la cantidad de agregado grueso entre su gravedad específica obtenida en la sección 5.6.1.

$$\frac{1136.39}{2750} = 0.4132m^3$$

28) Cálculo de volumen de aire incluido

Aire 1% = 0.01 = 0.01m<sup>3</sup>

29) Cálculo de volumen y contenido de agregado fino

Restar al metro cúbico la suma de volumen de agregado grueso, cemento, agua y aire.

$$1m^3 - 0.6842 = 0.3158m^3$$

Contenido Arena

Multiplicar volumen de arena por su densidad.

$$0.3158 m^3 \times 2600 = 821.08kg/m^3$$

30) Resultados iniciales de proporcionamiento

**Tabla 49. Resultados iniciales de pesos para mezcla 3**

Propocionamiento de mezcla inicial		
	Unidades	Cantidad
Cemento HE	kg	302
Arena	kg	821
A.G 467 RCD	kg	1136.4
Agua	lt	166

Fuente: Propia

### 5.8.2.1 Análisis para combinación granulométrica de agregados en mezcla 3 con RCD

Como se mencionó anteriormente, para realizar la combinación de 2 agregados se necesita conocer el porcentaje de participación de cada uno de ellos en el volumen total de los agregados. EL volumen total de esta mezcla es 1957.4kg lo que corresponde a 58.05% de agregado tamaño 467 reciclado, y 41.95% de agregado fino sumando un total de 100%.

**Tabla 50. Análisis de combinación granulométrica para mezcla 3 con 100% de RCD**

tamiz	mm	Agregados			100.00%	% que pasa	Retenida	
		64.00%	0.00%	36.00%			Combinada	Acumulado Individual
		100.00%	0.00%	100.00%				
		1 1/2" comb. RCD	1/2" comb	Arena				
2"	50	100.00	100	100		100.00	0.00	0.00
1 1/2"	38	100.00	100	100		100.00	0.00	0.00
1"	25	85.89	89.94	100		90.97	9.03	9.03
3/4"	19	71.52	79.36	100		81.77	18.23	9.20
1/2"	12.7	44.82	52.11	100		64.68	35.32	17.09
3/8"	9.5	29.10	34	100		54.62	45.38	10.06
#4	4.75	3.17	2.69	99.81		37.96	62.04	16.66
#8	2.36	1.63	1.47	83.5		31.10	68.90	6.86
#16	1.18	0.75	0.74	60.4		22.22	77.78	8.88
#30	0.6	0.39	0.4	40.77		14.93	85.07	7.30
#50	0.3	0.22	0.25	22.03		8.07	91.93	6.86
#100	0.15	0.11	0.14	5.21		1.95	98.05	6.13

Fuente: Propia

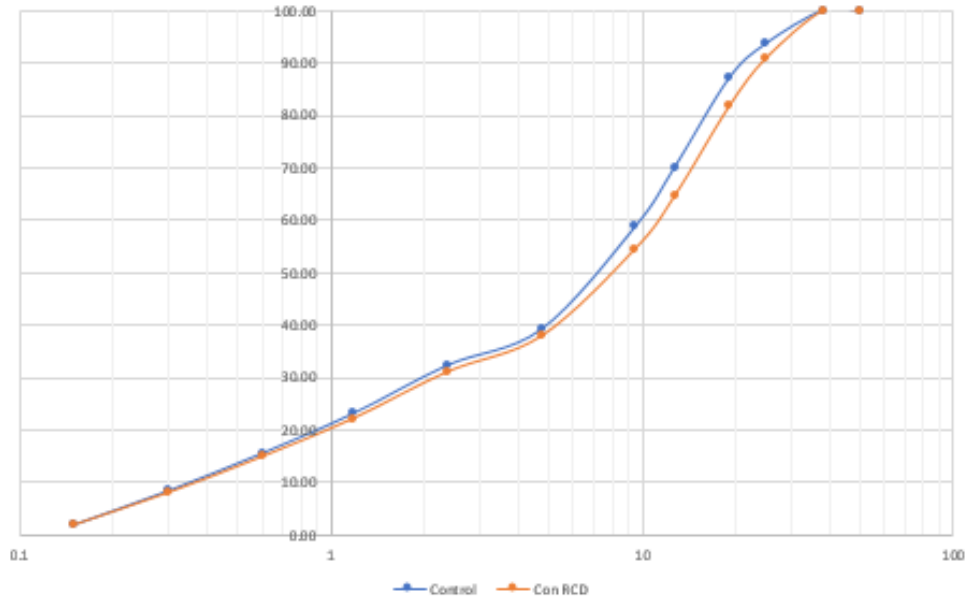
En este caso, por ser la mezcla que se evaluará en base al control 2, se ajustan los porcentajes de participación de los agregados con el fin de obtener curvas similares a las del control. Dicho lo anterior se concluyó que los porcentajes finales serán de 64% agregado grueso tamaño 467 reciclado, 36% de arena. Hecho el ajuste, se necesita recalcular los pesos iniciales de diseño, los cuales se muestran en la tabla 51.

**Tabla 51. Pesos iniciales corregidos de mezcla 3 con RCD**

Proporciónamiento de mezcla inicial corregida		
	Unidades	Cantidad
Cemento HE	kg	302
Arena	kg	744.04
A.G 467 RCD	kg	424.88
Agua	lt	166

Fuente: Propia

Posteriormente, se grafica el tamaño de abertura por tamiz en mm contra el porcentaje que pasa combinado de los agregados esperando obtener una curva suave y similar al control como se muestra en la **ilustración 43**.



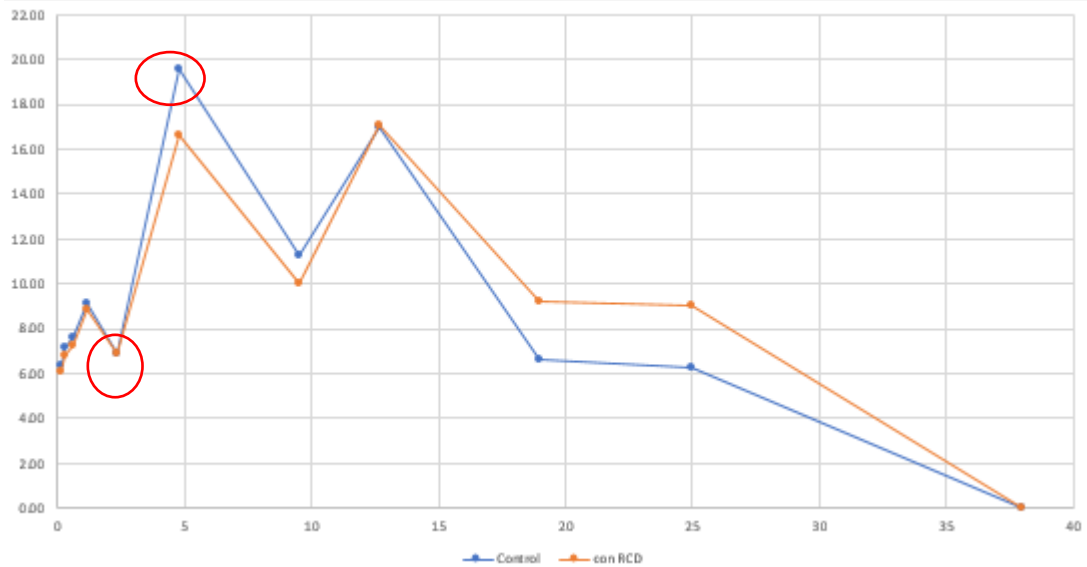
**Ilustración 43. Curva tamiz-Porcentaje pasado de Mezcla 3 con RCD**

Fuente: Propia

Se puede observar que la curva naranja, la cual representa la mezcla con concreto reciclado es muy similar a la del control. Se concluye que la combinación con material reciclado es adecuada y se utilizará.

Nuevamente, se grafica el porcentaje retenido individual contra la abertura por tamiz esperando obtener valores dentro de 8-20 para su aceptación según la norma ASTM C33. En caso no se pueda obtener una gráfica dentro de los valores anteriormente mencionados se ajustarán los porcentajes de participación por agregado y que esa manera esté lo más cerca posible de los parámetros. La grafica abertura-PRI se muestra en la **ilustración 44**.





**Ilustración 44. Gráfica abertura-PRI de Mezcla 3 con RCD**

Fuente: Propia

Se pudo ajustar hasta donde fuera posible la gráfica de RCD a la de control. Se concluye que la muestra es lo suficientemente similar al control y por lo tanto se puede utilizar.

### 5.8.2.2 Corrección de pesos por humedad de Mezcla 3 con RCD

#### 7) Arena

Se calcula el peso húmedo y agua libre del agregado fino con un peso seco de 70.488kg, un porcentaje de humedad al momento del mezclado de 10.86% y un porcentaje de absorción de 2.34% utilizando la ecuación 15 y ecuación 16 como se muestra a continuación:

$$\text{Peso Húmedo Arena} = 70.488 \times \left(1 + \frac{10.86}{100}\right) = 78.14kg$$

$$\text{Agua libre} = \frac{70.488}{1 + \frac{10.86}{100}} \times \frac{10.86 - 2.34}{100} = 8.39 \text{ lts}$$

8) Agregado Grueso Tamaño 467 RCD

De la misma manera, se calcula el peso húmedo y agua libre del agregado grueso tamaño 467 con un peso seco de 42.488kg, un porcentaje de humedad al momento del mezclado de 2.8% y un porcentaje de absorción de 3.1% utilizando la ecuación 15 y ecuación 16 como se muestra a continuación:

$$\text{Peso Húmedo AG 467 reciclado} = 125.312 \times \left(1 + \frac{2.8}{100}\right) = 128.82\text{kg}$$

$$\text{Agua libre} = \frac{125.312}{1 + \frac{2.8}{100}} \times \frac{2.8 - 3.1}{100} = -0.3656 \text{ lts}$$

En caso de tener un valor de agua libre negativo, se toma como 0.

Luego de haber obtenido el agua libre para todos los agregados se suman para obtener el agua libre total y de esa manera el agua de mezclado final utilizando las ecuaciones 17 y 18.

$$\text{Agua libre total} = 8.39 + 0 = 8.39\text{lts}$$

Restándole el agua libre total a los 16.6 litros de agua de diseño para cada mezcla, se obtiene el agua final de mezclado.

$$\text{Agua de mezclado final} = 16.6\text{lts} - 8.39\text{lts} = 8.21\text{lts}$$

Se presentan los resultados finales para el mezclado en concretera de los agregados en la **tabla 52**.

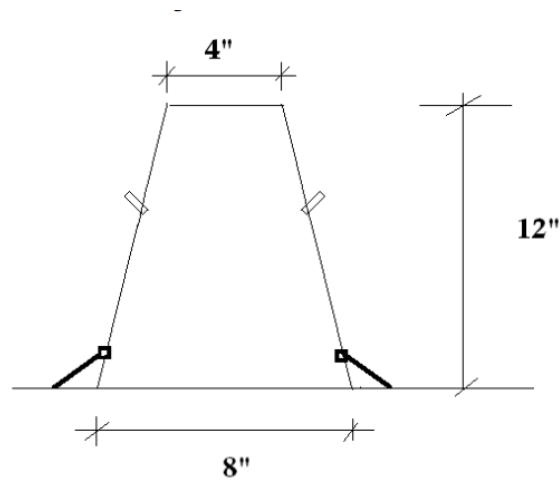
**Tabla 52. Pesos Finales de mezclado para mezcla 3 con RCD**

<b>Pesos para mezclado de Mezcla 3</b>		<b>Unidad</b>
Cemento HE	30.2	kg
Agregado Grueso 467 RCD	128.82	kg
Arena	78.14	kg
Agua	8.39	lt
Aditivo R100	4	oz

Fuente: Propia

## 5.9 REVENIMIENTOS

El revenimiento es la práctica a través de la cual se mide la trabajabilidad de una mezcla de concreto. Esta debe ser fácil de colocar ya que una vez endurecido el concreto tendrá que cumplir con la resistencia esperada para soportar las sollicitaciones a las que estará expuesto. La consistencia de un concreto se puede medir a través de la prueba de revenimiento la cual hace uso del cono de Abrams (Ilustración 45), según dicta la norma ASTM-C143.



**Ilustración 45. Cono de Abrams**

Fuente: (McMillian, Tuthill, & Lewis, 1989)

El revenimiento se obtiene midiendo la diferencia entre la altura de la parte superior del molde y la parte superior de la mezcla fresca luego de haberse retirado el molde. Cabe mencionar que la trabajabilidad es relativa ya que un concreto podría considerarse trabajable bajo ciertas condiciones. Como se mencionó anteriormente, todas las mezclas fueron diseñadas para un revenimiento de 2 pulgadas. Dicho lo anterior, se presentan los revenimientos para los diseños de mezcla elaborados anteriormente.

### 5.9.1 MEZCLA CONTROL 1

Para la mezcla control 1, se obtuvo un revenimiento de 4". Esto se observa en la ilustración 46.



**Ilustración 46. Revenimiento de mezcla control 1**

Fuente: Propia

#### 5.9.2 MEZCLA 1 CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO #4 POR RCD

Para la mezcla 1, se obtuvo un revenimiento de 3" como se observa en la ilustración 47.



**Ilustración 47. Revenimiento de Mezcla 1**

Fuente: Propia

### 5.9.3 MEZCLA CONTROL 2

Para esta mezcla se obtuvo un revenimiento de 3" como se muestra en la ilustración 48.



**Ilustración 48. Revenimiento de Mezcla Control 2**

Fuente: Propia

### 5.9.4 MEZCLA 2 CON SUSTITUCIÓN DE 35%

Esta mezcla dio como resultado un revenimiento de 4 ½ " como lo muestra la ilustración 49.



**Ilustración 49. Revenimiento de Mezcla 2 con sustitución de 35%**

Fuente: Propia

### 5.9.5 MEZCLA 3 CON SUSTITUCIÓN DE 100%

Se obtuvo un revenimiento de 3.5" para la mezcla con 100% de sustitución de agregado grueso por RCD.



**Ilustración 50. Revenimiento de Mezcla 3 con 100% de sustitución**

Fuente: Propia

### 5.10 ROTURA DE TESTIGOS

Luego de haber curado adecuadamente los testigos cilíndricos y prismáticos en las pilas por 7 y 28 días basándose en la norma ASTM C-39, como se muestra en la Ilustración 51, se realizaron las roturas correspondientes para cada mezcla de concreto.



**Ilustración 51. Curado de testigos en pilas**

Fuente: Propia



Luego de ser removidos de la pila, secados y transportados correctamente, los testigos son puestos a prueba en equipos de compresión y flexión. Previo al ensayo de compresión, la norma ASTM-C617 recomienda que se preparen los testigos cilíndricos mediante un cabeceo en caso no se cuente con tapas de neopreno. Se define como cabeceo la preparación, con cemento puro o mortero de azufre, de las bases de los especímenes y así lograr el paralelismo entre las caras para su prueba. La **ilustración 52** muestra algunos testigos cilíndricos posterior a su cabeceo con una mezcla compuesta de mortero de azufre.



**Ilustración 52. Testigos cilíndricos cabeceados**

Fuente: Propia

Realizada la prueba de compresión, el valor obtenido es una carga en libras. El valor se interpreta bajo la **ecuación 20**, la cual relaciona la carga "P" en libras con su área de sección transversal para obtener la resistencia en PSI.

$$F'c = \frac{Pu}{\pi(d/2)^2}$$

**Ecuación 20. Resistencia a compresión en PSI**

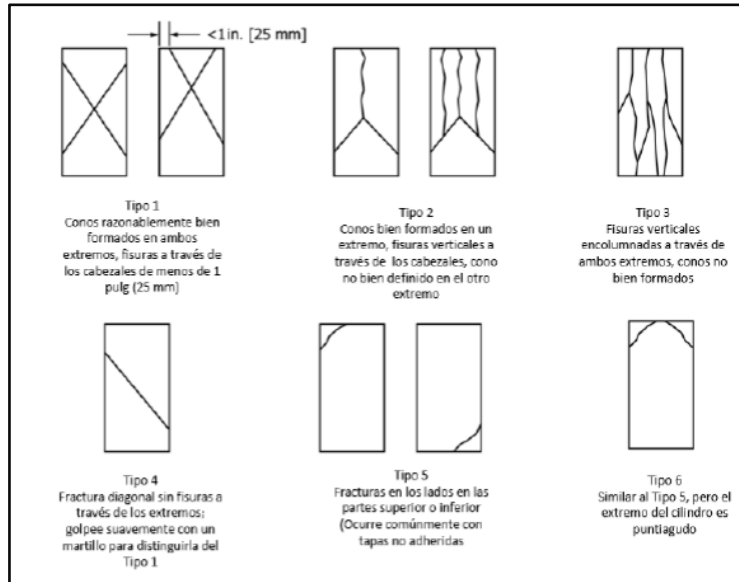
Fuente: Norma ASTM-C39

Donde:

Pu = Carga máxima soportada en Libras

d = Diámetro del cilindro en pulgadas (6" en nuestro caso)

Terminado el ensayo, se identifica el tipo de falla del cilindro haciendo referencia a la **ilustración 53**.



**Ilustración 53. Tipos de falla para testigos cilíndricos**

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca NTG-41017

Con respecto a la preparación previa al ensayo de flexión para las vigas, la norma ASTM-C78 pide que se marquen los tercios del testigo prismático adecuadamente tal y como se muestra en la **ilustración 54**.





## Ilustración 54. Marcaje de tercios en viga simple

Fuente: Propia

Posterior a realizar el ensayo de flexión a los testigos prismáticos, se verifica que la rotura se ocasiona dentro del tercio medio de la viga. El resultado del ensayo es el valor del Módulo de rotura (MR), el cual se presenta en libras por pulgada cuadrada y se obtiene mediante la **Ecuación 21**.

$$\text{Módulo de Rotura} = \frac{P \times L}{b \times d^2}$$

### Ecuación 21. Módulo de rotura

Fuente: ASTM-C78

Donde:

P= Carga máxima en libras

L= Distancia entre apoyos (18")

b= Base de la viga (6")

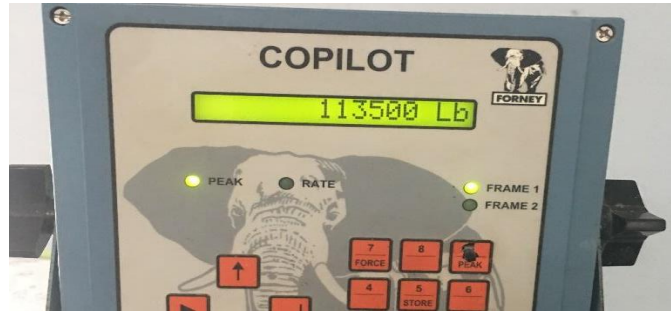
d= Altura de la viga (6")

A continuación, se presentan los resultados de resistencia a la compresión y módulo de rotura para las diferentes mezclas a los 7 y 28 días de edad. Se recomienda hacer referencia a la **Ilustración 10. Diagrama de Nomenclatura de Muestras** para poder identificar adecuadamente los testigos.

#### 5.10.1 ROTURAS A LOS 7 DÍAS DE EDAD

##### 5.10.1.1 Mezcla Control 1

Se obtuvo una carga máxima a la compresión de 113,500 libras.



**Ilustración 55. Carga máxima a compresión CA107-000**

Fuente: Propia

Obtenida la carga máxima, se utiliza la **Ecuación 20** para determinar la resistencia a compresión en libras por pulgada cuadrada.

$$F'_c = \frac{113,500 \text{ lbs}}{\pi(6/2)^2} = 4014.24 \text{ Psi}$$

Esto equivale a un 97.64% de la resistencia de diseño (4111 Psi) calculada en el apartado 5.8 Diseños de Mezcla De Concreto.

Adicionalmente, se identificó una falla tipo 3 comparando la **ilustración 56** con la **ilustración 53**.



**Ilustración 56. Falla a compresión CA107-000**

Fuente: Propia

Para el ensayo a flexión se obtuvo una carga máxima igual a 6655 libras como se muestra en la **Ilustración 57.**



**Ilustración 57. Carga máxima a flexión VA107-000**

Fuente: Propia

Utilizando la **Ecuación 21**, se calcula el módulo de rotura para los 7 días.

$$\text{Módulo de Rotura} = \frac{6655 \times 18}{6 \times 6^2} = 554.6 \text{ Psi}$$

Esto equivale a un 92.43% de la resistencia a flexión de diseño (600 Psi).

#### 5.10.1.2 Mezcla 1 con sustitución de TMA por RCD

Se obtuvo una carga máxima a la compresión de 93,970 libras.



**Ilustración 58. Carga máxima a compresión CC107-100**

Fuente: Propia

Utilizando la **Ecuación 20** se obtiene el siguiente resultado de resistencia a la compresión en Psi:

$$F'c = \frac{93,970 \text{ lbs}}{\pi(6/2)^2} = 3323.5 \text{ Psi}$$

El resultado anterior equivale a un 80.84% de la resistencia de diseño (4111 Psi) calculada en la **Sección 5.8**.

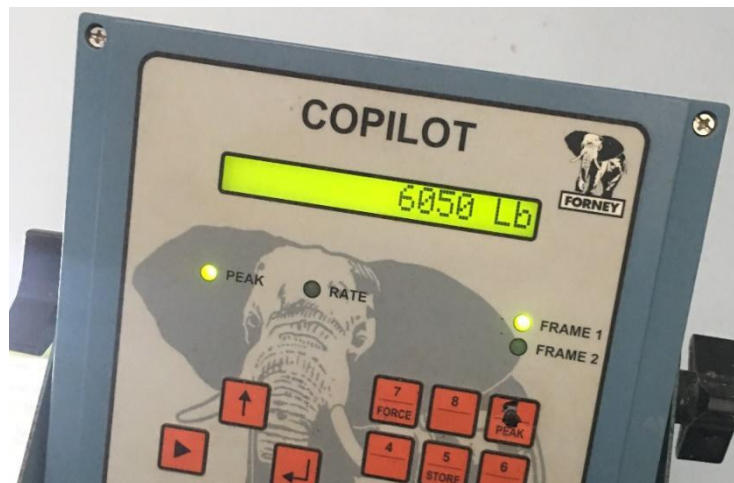
Adicionalmente, se identificó una falla tipo 3 comparando la **ilustración 59** con la **ilustración 53**.



**Ilustración 59. Falla a compresión CC107-100**

Fuente: Propia

Realizado el ensayo a flexión se obtuvo una carga máxima de 6050 Libras.



**Ilustración 60. Carga máxima a flexión VC107-100**

Fuente: Propia

Se calcula el módulo de rotura utilizando la **Ecuación 21**:

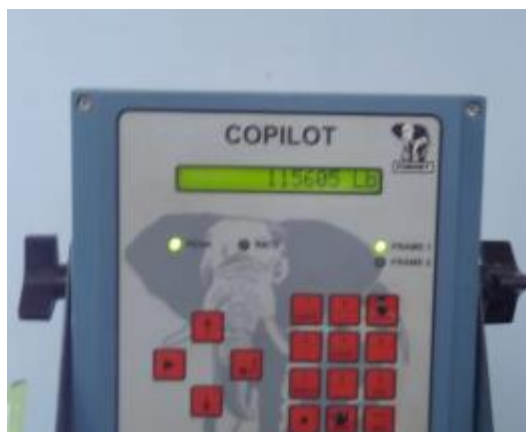
$$\text{Módulo de Rotura} = \frac{6050 \times 18}{6 \times 6^2} = 504.16 \text{ Psi}$$

Esto equivale a un 84.02% de la resistencia a flexión de diseño (600 Psi).

### 5.10.1.3 Mezcla Control 2

Resultados a compresión:

Para el control 2 se hicieron dos testigos obteniendo una carga máxima a la compresión de 115,605 libras para el CD107-000 y 124,010 libras para el CD207-000.



**Ilustración 61. Carga máxima a compresión CD107-000**

Fuente: Propia



**Ilustración 62. Carga máxima a compresión CD207-000**

Fuente: Propia

Obtenida la carga máxima de ambas muestras, se utiliza la **Ecuación 20** para determinar la resistencia a compresión en libras por pulgada cuadrada.

Para el CD107-000:

$$F'c = \frac{115,605 \text{ lbs}}{\pi(6/2)^2} = 4088.69 \text{ Psi}$$

Esto equivale a un 99.45% de la resistencia de diseño (4111 Psi) calculada en la **Sección 5.8**.

Adicionalmente, se identificó una falla tipo 3 comparando la **ilustración 63** con la **ilustración 53**.



**Ilustración 63. Falla a compresión CD107-000**

Fuente: Propia

Para el CD207-000:

$$F'c = \frac{124,010 \text{ lbs}}{\pi(6/2)^2} = 4385.95 \text{ Psi}$$

El resultado obtenido equivale a un 106.68% de la resistencia de diseño (4111 Psi).

Para la muestra 2, se identificó una falla tipo 3 como se muestra en la **ilustración 64**.

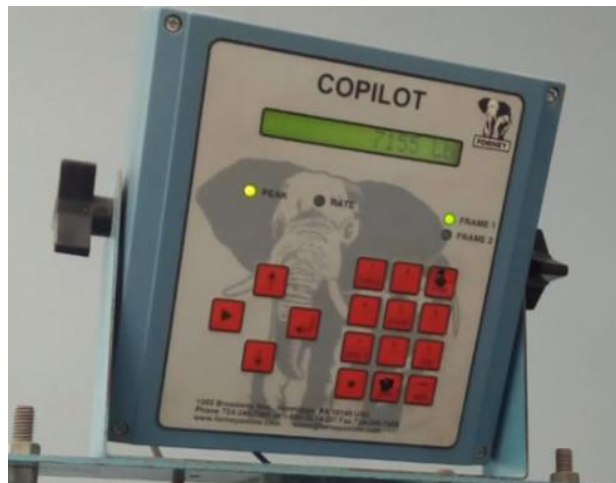


**Ilustración 64. Falla a compresión CD207-000**

Fuente: Propia

Resultados a flexión:

Para el ensayo a flexión se obtuvieron cargas máximas de 7,155 libras para la VD107-000 y 7,090 libras para la VD207-000 como se muestra en las **Ilustraciones 65 y 65** respectivamente.



**Ilustración 65. Carga máxima a flexión VD107-000**





**Ilustración 66. Carga máxima a flexión VD207-000**

Nuevamente, se utiliza la **Ecuación 21** para calcular el módulo de rotura a los 7 días de edad.

Para el testigo VD107-000:

$$\text{Módulo de Rotura VD107000} = \frac{7155 \times 18}{6 \times 6^2} = 596.25 \text{ Psi}$$

El valor obtenido equivale a un 99.37% de la resistencia a flexión de diseño (600 Psi).

Para el testigo VD207-000:

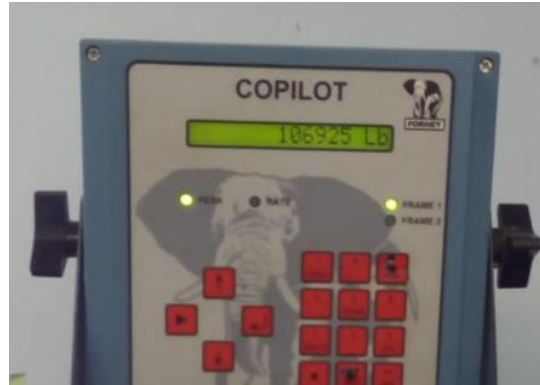
$$\text{Módulo de Rotura VD207000} = \frac{7090 \times 18}{6 \times 6^2} = 590.83 \text{ Psi}$$

Lo que equivale a un 98.47% de la resistencia a flexión de diseño (600 Psi).

#### 5.10.1.4 Mezcla 2 con 35% de sustitución

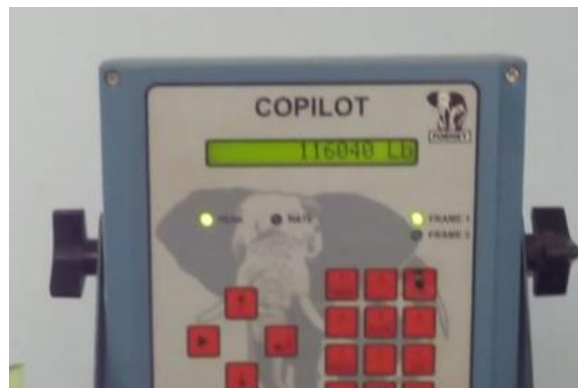
Resultados a compresión:

Para la mezcla 2 se hicieron dos testigos con valores resultantes de carga máxima a la compresión iguales a 106,925 libras para el CB107-035 y 116,040 libras para el CB207-035.



**Ilustración 67. Carga máxima a compresión CB107-035**

Fuente: Propia



**Ilustración 68. Carga máxima a compresión CB207-035**

Fuente: Propia

Posterior a la rotura, se utiliza la **Ecuación 20** para determinar la resistencia a compresión en libras por pulgada cuadrada.

Para el CB107-035:

$$F'_c = \frac{106,925 \text{ lbs}}{\pi(6/2)^2} = 3781.70 \text{ Psi}$$

Esto equivale a un 91.98% de la resistencia de diseño (4111 Psi) calculada en la **Sección 5.8**.

Adicionalmente, se identificó una falla tipo 3 comparando la **ilustración 69** con la **ilustración 53**.



**Ilustración 69. Falla por compresión CB107-035**

Fuente: Propia

Para el CB207-000:

$$F'c = \frac{116,040 \text{ lbs}}{\pi(6/2)^2} = 4104.07 \text{ Psi}$$

El resultado obtenido equivale a un 99.83% de la resistencia de diseño (4111 Psi).

Para la muestra 2, se identificó una falla tipo 3 como se muestra en la **ilustración 70**.



**Ilustración 70. Falla por compresión CB207-035**

Fuente: Propia

Resultados a flexión:

Para el ensayo a flexión se obtuvieron cargas máximas de 6,165 libras para la VB107-035 y 6680 libras para la VB207-035 como se muestra en las **Ilustraciones 71 y 72** respectivamente.



**Ilustración 71. Carga máxima a flexión VB107-035**

Fuente: Propia



**Ilustración 72. Carga máxima a flexión VB207-035**

Fuente: Propia

Nuevamente, se utiliza la **Ecuación 21** para calcular el módulo de rotura a los 7 días de edad.

$$\text{Módulo de Rotura VD107035} = \frac{6165 \times 18}{6 \times 6^2} = 513.75 \text{ Psi}$$

El valor obtenido equivale a un 85.62% de la resistencia a flexión de diseño (600 Psi).

$$\text{Módulo de Rotura VD207035} = \frac{6680 \times 18}{6 \times 6^2} = 556.67 \text{ Psi}$$

Lo que equivale a un 92.78% de la resistencia a flexión de diseño (600 Psi).

### 5.10.1.5 Mezcla 3 con 100% de sustitución

Resultados a compresión:

Para la mezcla 3 se hicieron dos testigos con valores resultantes de carga máxima a la compresión iguales a 116,480 libras para el CB107-100 y 120,645 libras para el CB207-100.



**Ilustración 73. Carga máxima a compresión CB107-100**

Fuente: Propia



**Ilustración 74. Carga máxima a compresión CB207-100**

Fuente: Propia

Posterior a la rotura, se utiliza la **Ecuación 20** para determinar la resistencia a compresión en libras por pulgada cuadrada.

Para el CB107-100:

$$F'c = \frac{116,480 \text{ lbs}}{\pi(6/2)^2} = 4119.64 \text{ Psi}$$

Esto equivale a un 100.21% de la resistencia de diseño (4111 Psi) calculada en la **Sección 5.8**.

Adicionalmente, se identificó una falla tipo 3 comparando la **ilustración 75** con la **ilustración 53**.



**Ilustración 75. Falla por compresión CB107-100**

Fuente: Propia

Para el CB207-100:

$$F'c = \frac{120,645 \text{ lbs}}{\pi(6/2)^2} = 4266.94 \text{ Psi}$$

El resultado obtenido equivale a un 103.79% de la resistencia de diseño (4111 Psi).

Para la muestra 2, se identificó una falla tipo 3 como se muestra en la **ilustración 76**.

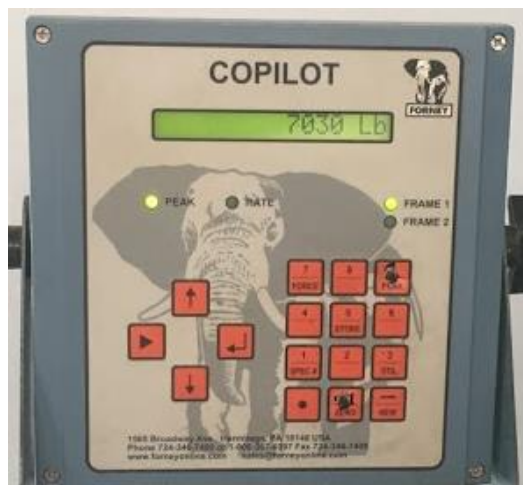


**Ilustración 76. Falla por compresión CB207-100**

Fuente: Propia

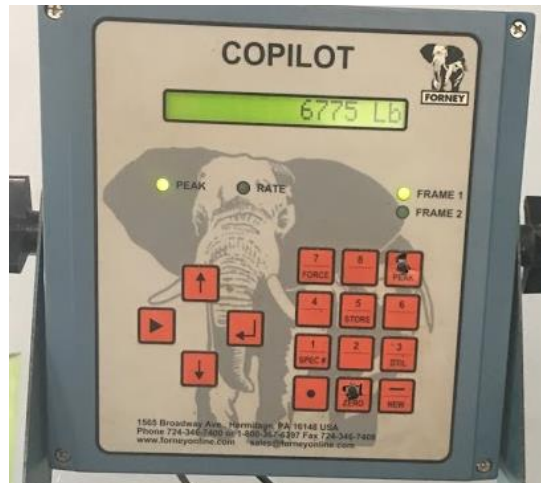
Resultados a flexión:

Para el ensayo a flexión se obtuvieron cargas máximas de 7030 libras para la VB107-100 y 6,775 libras para la VB207-100 como se muestra en las **Ilustraciones 77 y 78** respectivamente.



**Ilustración 77. Carga máxima a flexión VB107-100**

Fuente: Propia



**Ilustración 78. Carga máxima a flexión VB207-100**

Fuente: Propia

Nuevamente, se utiliza la **Ecuación 21** para calcular el módulo de rotura a los 7 días de edad.

$$\text{Módulo de Rotura VD107100} = \frac{7030 \times 18}{6 \times 6^2} = 585.83 \text{ Psi}$$

El valor obtenido equivale a un 97.64% de la resistencia a flexión de diseño (600 Psi).

$$\text{Módulo de Rotura VD207100} = \frac{6775 \times 18}{6 \times 6^2} = 564.60 \text{ Psi}$$

Lo que equivale a un 94.09% de la resistencia a flexión de diseño (600 Psi).

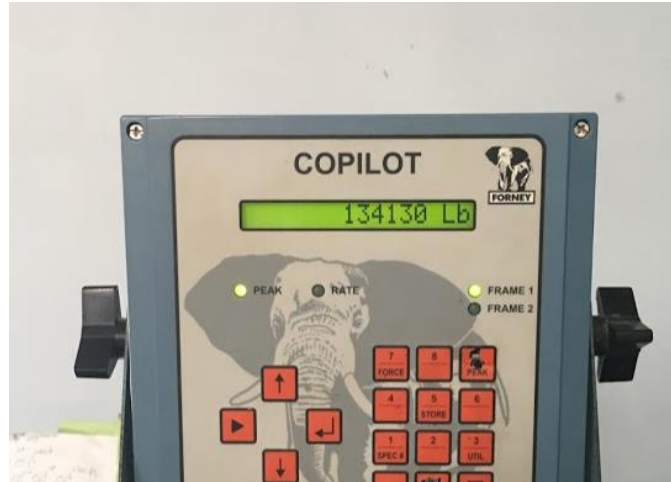
## 5.10.2 ROTURAS A LOS 28 DÍAS DE EDAD

### 5.10.2.1 Mezcla Control 1

Resultados a compresión:

Cumplidos los 28 días de edad, se obtuvieron cargas máximas a la compresión de 134,130 libras para el CA128-000 y 130,680 libras para el CA228-000, lo anterior se presenta en las ilustraciones 79 y 80.





**Ilustración 79. Carga máxima a compresión CA128-000**

Fuente: Propia



**Ilustración 80. Carga máxima a compresión CA228-000**

Fuente: Propia

Tomados los datos, se utiliza la **Ecuación 20** para determinar la resistencia a compresión en libras por pulgada cuadrada.

$$F'c_{CA128-000} = \frac{134,130 \text{ lbs}}{\pi(6/2)^2} = 4743.87 \text{ Psi}$$

Esto equivale a un 115.40% de la resistencia de diseño (4111 Psi) calculada en la **Sección 5.8**. Posterior a la rotura, se identificó una falla tipo 3 comparando la **ilustración 81** con la **ilustración 53**.



**Ilustración 81. Falla por compresión CA128-000**

Fuente: Propia

$$F'c_{CA228-000} = \frac{130,680 \text{ lbs}}{\pi(6/2)^2} = 4,621.85 \text{ Psi}$$

Lo cual equivale a un 112.42% de la resistencia de diseño (4111 Psi).

Nuevamente, se identificó una falla tipo 3 comparando la **ilustración 82** con la **ilustración 53**.



**Ilustración 82. Falla a compresión CA228-000**

Fuente: Propia

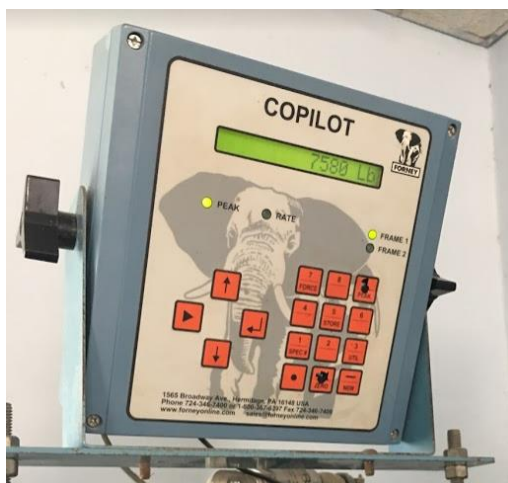
Resultados a Flexión:

Para el ensayo a flexión se obtuvieron cargas máximas de 7,385 libras para la VA128-000 y 7,580 para la VA228-000 tal y como se muestra en la **Ilustración 83 e Ilustración 84.**



**Ilustración 83. Carga máxima a flexión VA128-000**

Fuente: Propia



**Ilustración 84. Carga máxima a flexión VA228-000**

Utilizando la **Ecuación 21**, se calculan el módulo de rotura para los 28 días.

$$\text{Módulo de Rotura VA128 - 000} = \frac{7385 \times 18}{6 \times 6^2} = 615.42 \text{ Psi}$$

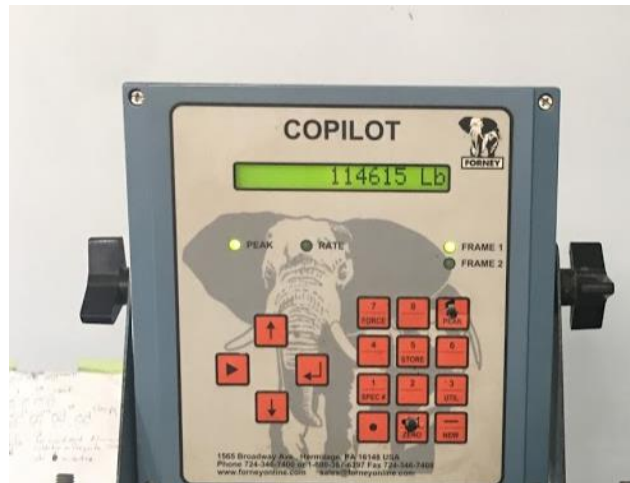
Esto equivale a un 102.60% de la resistencia a flexión de diseño (600 Psi).

$$\text{Módulo de Rotura VA228 - 000} = \frac{7580 \times 18}{6 \times 6^2} = 631.66 \text{ Psi}$$

Lo cual equivale a un 105.27% de la resistencia de diseño.

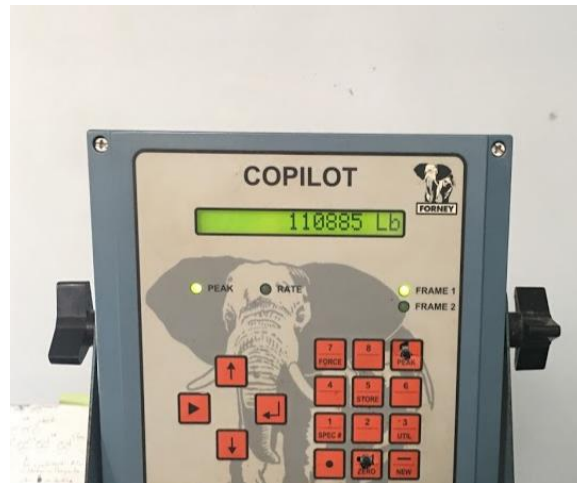
#### 5.10.2.2 Mezcla 1 con sustitución de agregado #4 por RCD

Para esta mezcla se obtuvieron cargas máximas a la compresión de 114,615 libras para el CC128-100 y, 110,885 libras para el CC228-100, los datos se presentan en las ilustraciones 85 y 86.



**Ilustración 85. Carga máxima a compresión CC128-100**

Fuente: Propia



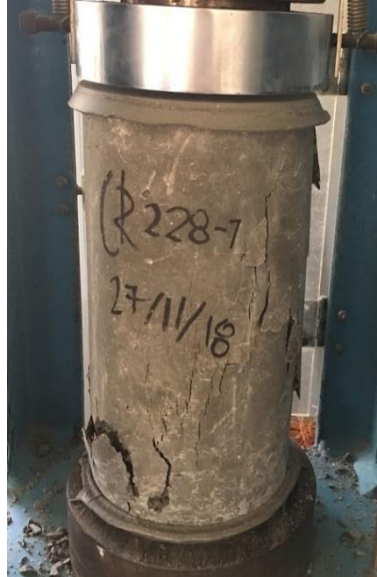
**Ilustración 86. Carga máxima a compresión CC228-100**

Fuente: Propia

Ahora se procede a utilizar la **Ecuación 20** para determinar la resistencia a compresión en libras por pulgada cuadrada.

$$F'c_{CC128-100} = \frac{114,615 \text{ lbs}}{\pi \left(\frac{6}{2}\right)^2} = 4053.67 \text{ Psi}$$

Esto equivale a un 98.60% de la resistencia de diseño (4111 Psi). Se identificó una falla tipo 3 comparando la **ilustración 87** con la **ilustración 53**.



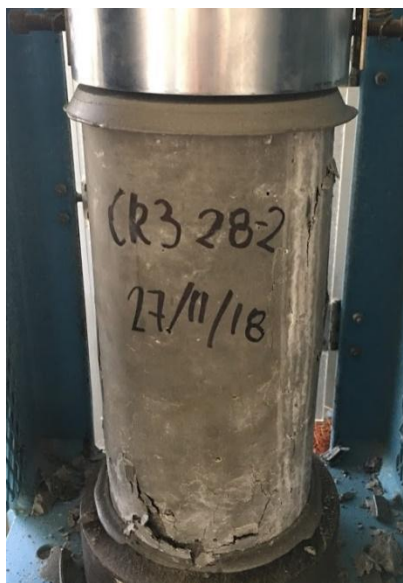
**Ilustración 87. Falla por compresión CC128-100**

Fuente: Propia

$$F'c_{CC228-000} = \frac{110,885 \text{ lbs}}{\pi \left(\frac{6}{2}\right)^2} = 3,921.75 \text{ Psi}$$

Lo cual equivale a un 95.40% de la resistencia de diseño (4111 Psi).

Nuevamente, se identificó una falla tipo 3 comparando la **ilustración 88** con la **ilustración 53**.



### Ilustración 88. Falla a compresión CC228-100

Fuente: Propia

Resultados a Flexión:

Para el ensayo a flexión se obtuvieron cargas máximas de 6,045 libras para la VC128-100 y 6,700 para la VC228-100 tal y como se muestra en la **Ilustración 89 e Ilustración 90.**



Ilustración 89. Carga máxima a flexión VC128-100

Fuente: Propia

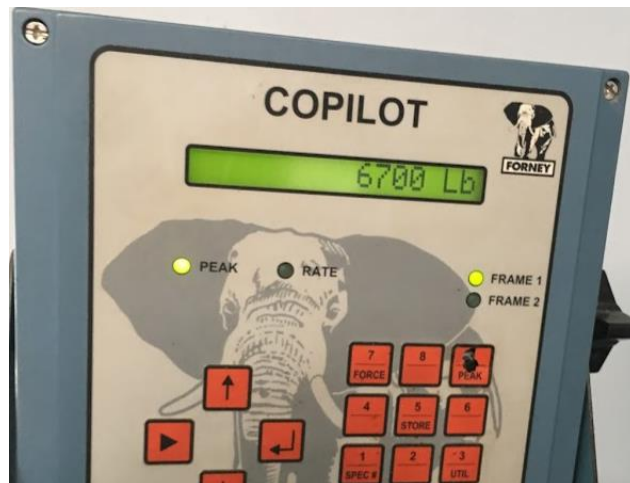


Ilustración 90. Carga máxima a flexión VC228-100

Utilizando la **Ecuación 21**, se calculan el módulo de rotura para los 28 días.

$$\text{Módulo de Rotura VC128} - 100 = \frac{6045 \times 18}{6 \times 6^2} = 504 \text{ Psi}$$

Esto equivale a un 84% de la resistencia a flexión de diseño (600 Psi).

$$\text{Módulo de Rotura VC228} - 100 = \frac{6700 \times 18}{6 \times 6^2} = 558 \text{ Psi}$$

Lo cual equivale a un 93.05% de la resistencia de diseño.

### 5.10.2.3 Mezcla Control 2

Resultados a compresión:

Cumplidos los 28 días de edad, se obtuvieron cargas máximas a la compresión de 128,125 libras para el CD128-000 y 128,210 libras para el CD228-000, lo anterior se presenta en las ilustraciones 91 y 92.



**Ilustración 91. Carga máxima a compresión CD128-000**

Fuente: Propia





**Ilustración 92. Carga máxima a compresión CD228-000**

Fuente: Propia

Posterior a la toma de datos se utiliza la **Ecuación 20** para determinar la resistencia a compresión en libras por pulgada cuadrada de cada mezcla.

$$F'c_{CD128-000} = \frac{128,125 \text{ lbs}}{\pi \left(\frac{6}{2}\right)^2} = 4,531.5 \text{ Psi}$$

Esto equivale a un 110.23% de la resistencia de diseño (4111 Psi) calculada en la **Sección 5.8**. Posterior a la rotura, se identificó una falla tipo 2 comparando la **ilustración 93** con la **ilustración 53**.



**Ilustración 93. Falla por compresión CD128-000**

Fuente: Propia

$$F'c_{CD228-000} = \frac{128,210 \text{ lbs}}{\pi \left(\frac{6}{2}\right)^2} = 4,534.50 \text{ Psi}$$

Lo cual equivale a un 110.30% de la resistencia de diseño (4111 Psi).

Nuevamente, se identificó una falla tipo 3 comparando la **ilustración 94** con la **ilustración 53**.



**Ilustración 94. Falla a compresión CD228-000**

Fuente: Propia

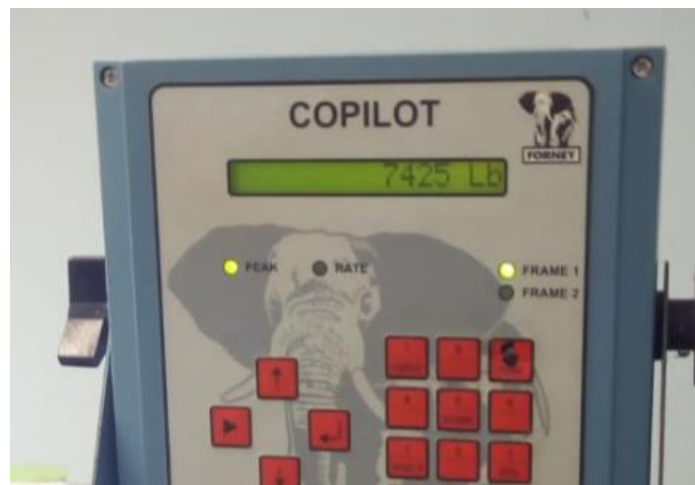
Resultados a Flexión:

Para el ensayo a flexión se obtuvieron cargas máximas de 8,420 libras para la VD128-000 y 7,425 para la VD228-000 tal y como se muestra en la **Ilustración 95 e Ilustración 96**.



**Ilustración 95. Carga máxima a flexión VD128-000**

Fuente: Propia



**Ilustración 96. Carga máxima a flexión VD228-000**

Utilizando la **Ecuación 21**, se calculan el módulo de rotura para los 28 días.

$$\text{Módulo de Rotura VD128 - 000} = \frac{8420 \times 18}{6 \times 6^2} = 701.66 \text{ Psi}$$

Esto equivale a un 116.94% de la resistencia a flexión de diseño (600 Psi).

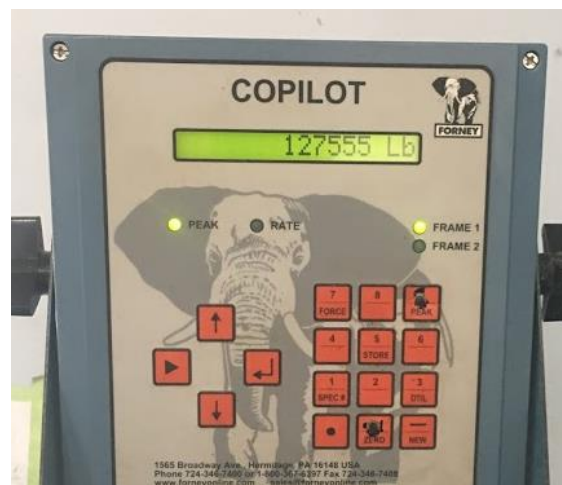
$$\text{Módulo de Rotura VD228 - 000} = \frac{7425 \times 18}{6 \times 6^2} = 618.75 \text{ Psi}$$

Lo cual equivale a un 103.13% de la resistencia de diseño.

#### 5.10.2.4 Mezcla 2 con 35% de sustitución

Resultados a compresión:

Para la mezcla 2 se obtuvieron valores de carga máxima a la compresión iguales a 127,555 libras para el CB128-035 y 118,260 libras para el CB228-035. Lo anterior se observa en las ilustraciones 67 y 68.



**Ilustración 97. Carga máxima a compresión CB128-035**

Fuente: Propia



**Ilustración 98. Carga máxima a compresión CB228-035**

Fuente: Propia

Posterior a la rotura, se utiliza la **Ecuación 20** nuevamente para determinar la resistencia a compresión en libras por pulgada cuadrada.

Para el CB128-035:

$$F'_c = \frac{127,555 \text{ lbs}}{\pi(6/2)^2} = 4,511.33 \text{ Psi}$$

Esto equivale a un 109.74% de la resistencia de diseño (4111 Psi) calculada en la **Sección 5.8**.

Adicionalmente, se identificó una falla tipo 1 comparando la **ilustración 99** con la **ilustración 53**.



**Ilustración 99. Falla por compresión CB128-035**

Fuente: Propia

Para el CB207-000:

$$F'_c = \frac{118,260 \text{ lbs}}{\pi(6/2)^2} = 4182.6 \text{ Psi}$$

El resultado obtenido equivale a un 101.74% de la resistencia de diseño (4111 Psi).

Para la muestra 2, se identificó una falla tipo 3 como se muestra en la **ilustración 100**.



**Ilustración 100. Falla por compresión CB228-035**

Fuente: Propia

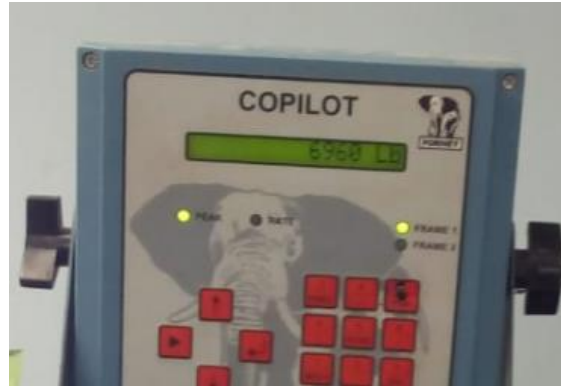
Resultados a flexión:

Para el ensayo a flexión se obtuvieron cargas máximas de 7,230 libras para la VB128-035 y 6,960 libras para la VB228-035 como se muestra en las **ilustraciones 101 y 102** respectivamente.



### Ilustración 101. Carga máxima a flexión VB128-035

Fuente: Propia



### Ilustración 102. Carga máxima a flexión VB228-035

Fuente: Propia

Nuevamente, se utiliza la **Ecuación 21** para calcular el módulo de rotura a los 7 días de edad.

$$\text{Módulo de Rotura VD128035} = \frac{7230 \times 18}{6 \times 6^2} = 602.5 \text{ Psi}$$

El valor obtenido equivale a un 100.42% de la resistencia a flexión de diseño (600 Psi).

$$\text{Módulo de Rotura VD228035} = \frac{6960 \times 18}{6 \times 6^2} = 580 \text{ Psi}$$

Lo que equivale a un 96.66% de la resistencia a flexión de diseño (600 Psi).

#### 5.10.2.5 Mezcla 3 con 100% de sustitución

Resultados a compresión:

Para la mezcla 3 se hicieron dos testigos con valores resultantes de carga máxima a la compresión iguales a 124,595 libras para el CB128-100 y 122,260 libras para el CB228-100.



**Ilustración 103. Carga máxima a compresión CB128-100**

Fuente: Propia



**Ilustración 104. Carga máxima a compresión CB228-100**

Fuente: Propia

Posterior a la rotura, se utiliza la **Ecuación 20** para determinar la resistencia a compresión en libras por pulgada cuadrada.

Para el CB128-100:

$$F'_c = \frac{124,595 \text{ lbs}}{\pi(6/2)^2} = 4406.64 \text{ Psi}$$

Esto equivale a un 107.19% de la resistencia de diseño (4111 Psi) calculada en la **Sección 5.8**.

Adicionalmente, se identificó una falla tipo 3 comparando la **ilustración 105** con la **ilustración 53**.





**Ilustración 105. Falla por compresión CB128-100**

Fuente: Propia

Para el CB228-100:

$$F'c = \frac{122,260 \text{ lbs}}{\pi(6/2)^2} = 4324.06 \text{ Psi}$$

El resultado obtenido equivale a un 105.18% de la resistencia de diseño (4111 Psi).

Para la muestra 2, se identificó una falla tipo 3 como se muestra en la **ilustración 106**.

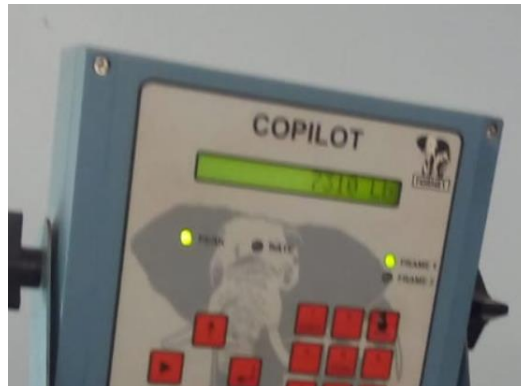


**Ilustración 106. Falla por compresión CB228-100**

Fuente: Propia

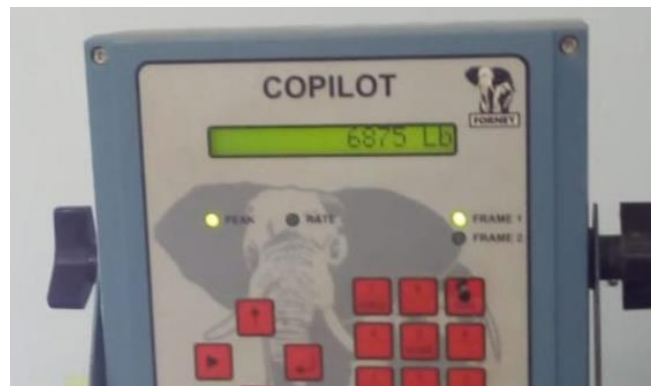
Resultados a flexión:

Para el ensayo a flexión se obtuvieron cargas máximas de 7310 libras para la VB128-100 y 6875 libras para la VB228-100 como se muestra en las **Ilustraciones 107 y 108** respectivamente.



**Ilustración 107. Carga máxima a flexión VB128-100**

Fuente: Propia



**Ilustración 108. Carga máxima a flexión VB228-100**

Fuente: Propia

Nuevamente, se utiliza la **Ecuación 21** para calcular el módulo de rotura a los 7 días de edad.

$$\text{Módulo de Rotura } VD128100 = \frac{7310 \times 18}{6 \times 6^2} = 609.17 \text{ Psi}$$

El valor obtenido equivale a un 101.53% de la resistencia a flexión de diseño (600 Psi).

$$\text{Módulo de Rotura VD228100} = \frac{6875 \times 18}{6 \times 6^2} = 572.92 \text{ Psi}$$

Lo que equivale a un 95.49% de la resistencia a flexión de diseño (600 Psi).

### **5.11 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS**

Las pruebas estadísticas son aquellas que se realizan con la finalidad de analizar datos medidos por una variable cuantitativa continua. Así pues, hay dos grupos de pruebas de significación estadística.

Estos dos tipos de pruebas estadísticas para el análisis de datos son las paramétricas y no paramétricas. Las pruebas estadísticas paramétricas son aquellas que se utilizan para analizar datos numéricos. Frecuentemente, estas se basan en la distribución gaussiana o normal para la variable dependiente. (Soto, 2018)

Siendo la variable dependiente aquella que depende del valor que adopta la variable independiente. A diferencia de esta, las pruebas estadísticas no paramétricas son aquellas que se utilizan para analizar datos con variables nominales y ordinales; estos datos no asumen un tipo particular de distribución. Se aceptan distribuciones no normales y la exigencia en cuanto al tamaño de la muestra es menor que en el caso de las pruebas paramétricas. Por lo tanto, y al contar con dos muestras por edad del concreto, es preciso escoger una prueba no paramétrica para el análisis del estudio en cuestión.

A consecuencia de los limitados tiempos de trituración disponibles para obtener cantidades adecuadas de material reciclado durante el tiempo estipulado para esta investigación se aplicó la recomendación del ACI C-94 Sección 18.2 la cual indica que se deben elaborar al menos dos testigos para cada muestra de concreto. En base a lo anterior cada mezcla de concreto diseñada, se tienen 2 resultados por cada día de edad del concreto a evaluar tanto a compresión como a flexión por lo que se decidió utilizar la prueba de Mann-Whitney.

La prueba U de Mann-Whitney se usa para comparar las diferencias entre dos grupos independientes cuando la variable dependiente es ordinal o continua, pero no se distribuye normalmente. La prueba U de Mann-Whitney a menudo se considera la alternativa no paramétrica a la prueba t independiente, aunque no siempre es así. A diferencia de la prueba t de muestras independientes, la prueba U de Mann-Whitney le permite sacar conclusiones diferentes acerca de

sus datos dependiendo de las suposiciones que haga sobre la distribución de sus datos (Lund & Lund, 2018). Estas conclusiones pueden variar desde simplemente establecer si las dos poblaciones difieren hasta determinar si hay diferencias en las medianas entre los grupos los cuales dependen de la forma de las distribuciones de sus datos.

Tres investigadores, Mann, Whitney y Wilcoxon, perfeccionaron por separado una prueba no paramétrica muy similar que puede determinar si las muestras pueden considerarse idénticas o no sobre la base de sus rangos. Esta prueba se puede utilizar únicamente para estudiar las posiciones relativas de las muestras, y también cuando las muestras son pequeñas y falta información respecto de la densidad de probabilidad.

Como cualquier prueba estadística, la U de Mann-Whitney tiene fuerzas y debilidades. En términos de fuerzas, como cualquier no paramétrico, la prueba U de Mann - Whitney no depende de suposiciones en la distribución. También se puede utilizar cuando las condiciones de normalidad no se cumplen y la muestra es pequeña o los datos son semicuantitativos. En resumen, pocas restricciones se aplican a esta prueba. La prueba U de Mann - Whitney es también una de las más potentes pruebas no paramétricas donde el poder estadístico corresponde a la probabilidad de rechazar una falsa hipótesis nula (Landers, 1984). La prueba de Mann - Whitney tiene aproximadamente el 95% de confianza.

Se escogió un valor de significancia de  $\alpha = 0.05$  para la investigación en cuestión por lo tanto si el valor "P" es menor se rechaza la hipótesis nula, de lo contrario se acepta.

#### 5.11.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA MEZCLA CONTROL 1 VS MEZCLA 1

Resultados estadísticos de resistencia a compresión a los 28 días de edad:

## Mann-Whitney: Control 1 (28 Dias); Mezcla 1 (28 Dias)

### Método

$\eta_1$ : mediana de Control 1 (28 Dias)

$\eta_2$ : mediana de Mezcla 1 (28 Dias)

Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Control 1 (28 Dias)	2	4111.05
Mezcla 1 (28 Dias)	2	3987.71

### Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
123.34	(57.33; 189.35)	75.47%

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna  $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Valor W	Valor p
7.00	0.245

### Ilustración 109. Resultados de compresión Mann-Whitney C1vsM1

Fuente: MiniTabs

Se puede observar que, el valor de significancia "P" es mayor que 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Adicionalmente, se observa que la resistencia promedio faltante para que la mezcla 1 sea igual al control 1 es de 123.34 psi.

Resultados estadísticos de resistencia a flexión a los 28 días de edad:

## Mann-Whitney: Control 1 (28 Dias); Mezcla 1 (28 Dias)

### Método

$\eta_1$ : mediana de Control 1 (28 Dias)

$\eta_2$ : mediana de Mezcla 1 (28 Dias)

Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Control 1 (28 Dias)	2	600.050
Mezcla 1 (28 Dias)	2	531.165

### Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
68.885	(41.67; 96.1)	75.47%

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna  $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Valor W	Valor p
7.00	0.245

### Ilustración 110. Resultados de flexión Mann-Whitney C1vsM1 (28 días)

Fuente: Propia

Se puede observar que, el valor de significancia "P" es mayor que 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Adicionalmente, se observa que la resistencia promedio faltante para que la mezcla 1 sea igual al control 1 es de 68.885 psi.

#### 5.11.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA MEZCLA CONTROL 2 VS MEZCLA 2

Resultados estadísticos de resistencia a compresión a los 7 días de edad:

#### ↳ Mann-Whitney: Control 2 (7 Días); Mezcla 2 (7 Días)

##### Método

$\eta_1$ : mediana de Control 2 (7 Días)

$\eta_2$ : mediana de Mezcla 2 (7 Días)

Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

##### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Control 2 (7 Días)	2	4111.05
Mezcla 2 (7 Días)	2	3942.88

##### Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
168.165	(6.93; 329.4)	75.47%

##### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna  $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Valor W	Valor p
7.00	0.245

#### **Ilustración 111. Resultados a compresión de Mann-Whitney C2vsM2 (7 Días)**

Fuente: MiniTabs.

Se puede observar que, el valor de significancia "P" es mayor que 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Adicionalmente, se observa que la resistencia promedio faltante para que la mezcla 2 sea igual al control 2 es de 168.165 psi.

Resultados estadísticos de resistencia a compresión a los 28 días de edad:

## Mann-Whitney: Control 2 (28 Dias); Mezcla 2 (28 Dias)

### Método

$\eta_1$ : mediana de Control 2 (28 Dias)

$\eta_2$ : mediana de Mezcla 2 (28 Dias)

Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Control 2 (28 Dias)	2	4111.05
Mezcla 2 (28 Dias)	2	4346.80

### Estimación de la diferencia

Diferencia	Límite inferior para la diferencia	Confianza lograda
-235.75	-400	87.74%

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna  $H_1: \eta_1 - \eta_2 > 0$

Valor W	Valor p
3.00	0.974

## Ilustración 112. Resultados a compresión de Mann-Whitney C2vsM2 (28 Días)

Fuente: MiniTabs

Se puede observar que, el valor de significancia "P" es mayor que 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Adicionalmente, se observa que, al haber una diferencia negativa, la mezcla 2 superó en promedio 235.75 psi al control 2.

Resultados estadísticos de resistencia a flexión a los 7 días de edad:



#### 4 Mann-Whitney: Control 2 (7 Dias); Mezcla 2 (7 Dias)

##### Método

$\eta_1$ : mediana de Control 2 (7 Dias)  
 $\eta_2$ : mediana de Mezcla 2 (7 Dias)  
Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

##### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Control 2 (7 Dias)	2	593.54
Mezcla 2 (7 Dias)	2	535.21

##### Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
58.33	(34.16; 82.5)	75.47%

##### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$   
Hipótesis alterna  $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Valor W	Valor p
7.00	0.245

### Ilustración 113. Resultados de flexión Mann-Whitney C2vsM2 (7 días)

Fuente: MiniTabs

Se puede observar que, el valor de significancia "P" es mayor que 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Adicionalmente, se observa que la resistencia promedio faltante para que la mezcla 2 sea igual al control 2 es de 58.33 psi.

Resultados estadísticos de resistencia a flexión a los 28 días de edad:

### Mann-Whitney: Control 2 (28 Dias); Mezcla 2 (28 Dias)

#### Método

$\eta_1$ : mediana de Control 2 (28 Dias)

$\eta_2$ : mediana de Mezcla 2 (28 Dias)

Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

#### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Control 2 (28 Dias)	2	600.05
Mezcla 2 (28 Dias)	2	591.25

#### Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
8.8	(-2.5; 20.1)	75.47%

#### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna  $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Valor W	Valor p
5.00	1.000

### Ilustración 114. Resultados de flexión Mann-Whitney C2vsM2 (28 días)

Fuente: MiniTabs

Se puede observar que, el valor de significancia "P" es mayor que 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Adicionalmente, se observa que la resistencia promedio faltante para que la mezcla 2 sea igual al control 2 es de 8.8 psi.

### 5.11.3 ANÁLISIS PARA VALORES A COMPRESIÓN DE CONTROL 2 VS MEZCLA 3

Resultados estadísticos de resistencia a compresión a los 7 días de edad:

## Mann-Whitney: Control 2 (7 Días); Mezcla 3 (7 Días)

### Método

$\eta_1$ : mediana de Control 2 (7 Días)

$\eta_2$ : mediana de Mezcla 3 (7 Días)

Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Control 2 (7 Días)	2	4099.50
Mezcla 3 (7 Días)	2	4193.29

### Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
-93.79	(-178.94; -8.64)	75.47%

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna  $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Valor W	Valor p
3.00	0.245

## Ilustración 115. Resultados a compresión de Mann-Whitney C2vsM3 (7 Días)

Fuente: MiniTabs

Se puede observar que, el valor de significancia "P" es mayor que 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Adicionalmente, se observa que, al haber una diferencia negativa, la mezcla 3 superó en promedio 93.79 psi al control 2.

Resultados estadísticos de resistencia a compresión a los 28 días de edad:

## Mann-Whitney: Control 2 (28 Dias); Mezcla 3 (28 Dias)

### Método

$\eta_1$ : mediana de Control 2 (28 Dias)

$\eta_2$ : mediana de Mezcla 3 (28 Dias)

Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Control 2 (28 Dias)	2	4111.05
Mezcla 3 (28 Dias)	2	4365.32

### Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
-254.27	(-295.64; -212.9)	75.47%

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna  $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Valor W	Valor p
3.00	0.245

## Ilustración 116. Resultados a compresión de Mann-Whitney C2vsM3 (28 Días)

Fuente: MiniTabs

Se puede observar que, el valor de significancia "P" es mayor que 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Adicionalmente, se observa que, al haber una diferencia negativa, la mezcla 3 superó en promedio 254.27 psi al control 2.

Resultados estadísticos de resistencia a flexión a los 7 días de edad:

## Mann-Whitney: Control 2 (7 Dias); Mezcla 3 (7 Dias)

### Método

$\eta_1$ : mediana de Control 2 (7 Dias)  
 $\eta_2$ : mediana de Mezcla 3 (7 Dias)  
Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Control 2 (7 Dias)	2	593.540
Mezcla 3 (7 Dias)	2	575.215

### Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
18.325	(5; 31.65)	75.47%

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$   
Hipótesis alterna  $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Valor W	Valor p
7.00	0.245

### Ilustración 117. Resultados a flexión de Mann-Whitney C2vsM3 (7 Días)

Fuente: MiniTabs

Se puede observar que, el valor de significancia "P" es mayor que 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Adicionalmente, se observa que la resistencia promedio faltante para que la mezcla 3 sea igual al control 2 es de 18.325 psi.

Resultados estadísticos de resistencia a flexión a los 28 días de edad:

## Mann-Whitney: Control 2 (28 Dias); Mezcla 3 (28 Dias)

### Método

$\eta_1$ : mediana de Control 2 (28 Dias)

$\eta_2$ : mediana de Mezcla 3 (28 Dias)

Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Control 2 (28 Dias)	2	600.05
Mezcla 3 (28 Dias)	2	591.05

### Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
9	(-9.17; 27.17)	75.47%

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna  $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Valor W	Valor p
5.00	1.000

### Ilustración 118. Resultados a flexión de Mann-Whitney C2vsM3 (28 Días)

Fuente: MiniTabs

Finalmente, se puede observar que, el valor de significancia "P" es mayor que 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Adicionalmente, se observa que la resistencia promedio faltante para que la mezcla 3 sea igual al control 2 es de 9 psi.

## 5.12 GRÁFICAS COMPARATIVAS DE LOS RESULTADOS

Posterior a ser obtenidos los resultados y analizados estadísticamente, se presentan graficas comparativas de las propiedades físicas para cada mezcla de concreto reciclado contra su respectivo control. De esta manera, se contestan las preguntas de investigación planteadas anteriormente.

### 5.12.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADO #4 Y #6 ORDINARIO VS #4 PROVENIENTE DE RCD

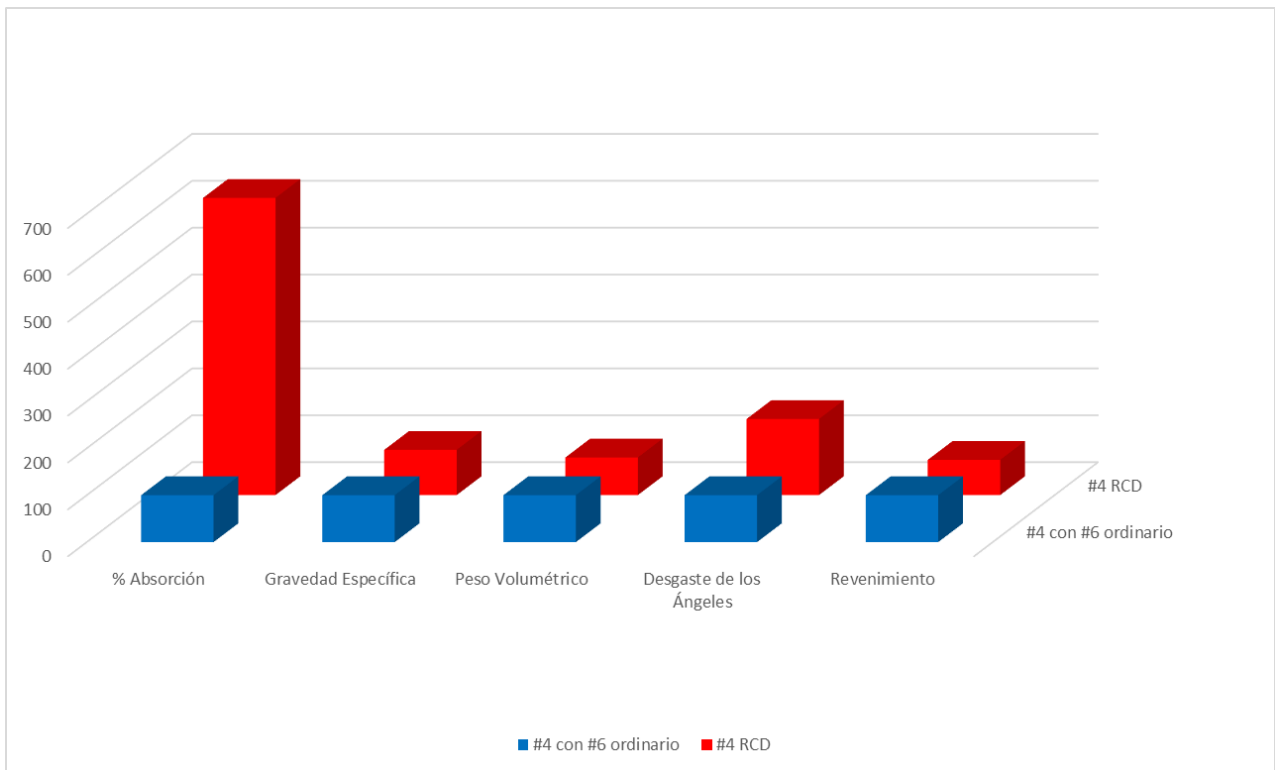
A continuación, se presenta la Tabla 53 , la cual muestra un resumen comparativo de los valores obtenidos para las propiedades físicas de los agregados control y del reciclado.

**Tabla 53. Resumen de propiedades físicas para agregado #4 ordinario vs #4 Reciclado**

DATOS	Mezcla 1	Control 1
	#4 RCD	#4 con #6 ordinario
% Absorción	8%	1.31%
Gravedad Específica	2.66	2.76
Peso Volumétrico	1,308.55 $\frac{kg}{m^3}$	1,632.08 $\frac{kg}{m^3}$
Desgaste de los Ángeles	37%	23%
Revenimiento en mezcla	3"	4"

Fuente: Propia

Estos valores son graficados para obtener una mejor visualización de como varían las propiedades entre cada agregado, lo anterior se muestra en la Ilustración 119. Las barras azules representan el agregado control mientras las rojas el agregado reciclado.



**Ilustración 119. Graficas comparativas para agregado #4 control vs #4 reciclado**

Fuente: Propia

Se puede observar que las propiedades físicas del agregado reciclado son muy similares a las del control a excepción del porcentaje de absorción y desgaste de los ángeles, los cuales se elevan hasta un 8% y 37% respectivamente. Lo anterior es de esperarse en base que la mayoría de las partículas del agregado reciclado son porosas por ser de concreto y no roca.

#### 5.12.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADO 467 ORDINARIO VS 467 PROVENIENTE DE RCD

Se presenta la Tabla 54, en esta un resumen comparativo de los valores obtenidos para las propiedades físicas de los agregados 467 y el 467 reciclado.

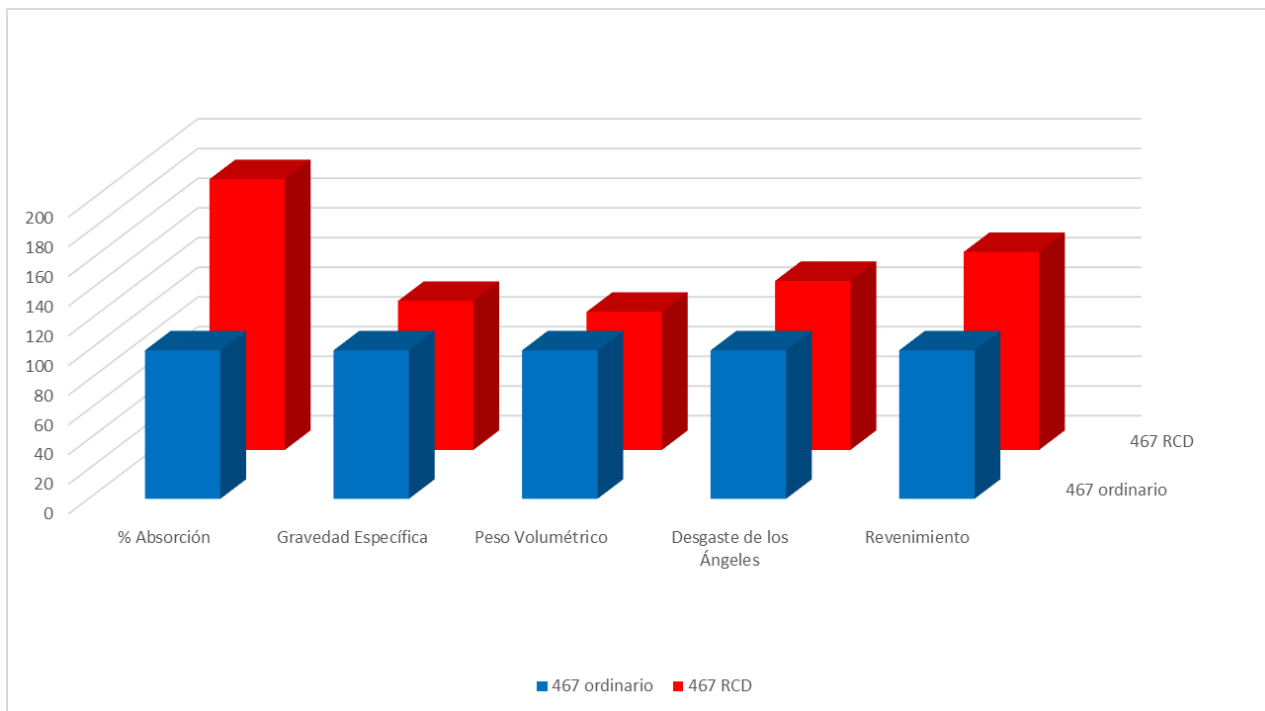
**Tabla 54. Resumen de propiedades físicas para agregado 467 ordinario vs 467 Reciclado**

DATOS	Mezcla 2 y 3	Control 2
	467 RCD	467 ordinario
% Absorción	3.1%	1.7%
Gravedad Específica	2.75	2.74
Peso Volumétrico	1,578.32 $\frac{kg}{m^3}$	1,697.01 $\frac{kg}{m^3}$
Desgaste de los Ángeles	26%	22%
Revenimiento en mezcla	4"	3"

Fuente: Propia

Nuevamente, se grafican los valores para obtener una mejor visualización de como varían las propiedades entre cada agregado, lo anterior se muestra en la Ilustración 120. Las barras azules representan el agregado control mientras las rojas el agregado reciclado.





**Ilustración 120. Graficas comparativas para agregado 467 control vs 467 reciclado**

Fuente: Propia

Se concluye que las propiedades físicas del agregado reciclado son muy similares a las del control. Igualmente, la absorción del agregado es la única que se ve afectada por la presencia de partículas recubiertas de concreto lo que aumenta ligeramente su porosidad. Sin embargo, este agregado sigue siendo adecuado para su uso en un pavimento de concreto hidráulico.

### 5.12.3 RESISTENCIAS A COMPRESIÓN

Se presentan, en la Tabla 55, un resumen de los resultados obtenidos a los 7 y 28 días de edad de los testigos con sus cargas máximas a compresión en libras, resistencia a compresión (F'c) y porcentaje alcanzado relativo al diseño (4111 Psi).

**Tabla 55. Resumen de resultados de resistencia a compresión de los testigos**

<b>TESTIGOS (7 días)</b>	<b>Carga Máxima (Lbs)</b>	<b>Resistencia Compresion (PSI)</b>	<b>Porcentaje Relativo a Diseño (4111PSI)</b>
<b>CA107-000</b>	113,500	4014.24	97.64%
<b>CC107-100</b>	93,970	3323.5	80.84%
<b>CD107-000</b>	115,605	4088.69	99.45%
<b>CD207-000</b>	124,010	4385.95	106.68%
<b>CB107-035</b>	106,925	3781.7	91.98%
<b>CB207-035</b>	116,040	4104.07	99.83%
<b>CB107-100</b>	116,480	4119.64	100.21%
<b>CB207-100</b>	120,645	4266.94	103.79%
<b>TESTIGOS (28 días)</b>			
<b>CA128-000</b>	134,130	4743.87	115.4%
<b>CA228-000</b>	130,680	4621.85	112.42%
<b>CC128-100</b>	114,615	4053.67	98.60%
<b>CC228-100</b>	110,885	3921.75	95.40%
<b>CD128-000</b>	128,125	4,531.50	110.23%
<b>CD228-000</b>	128,210	4,534.50	110.30%
<b>CB128-035</b>	127,555	4,511	109.73%
<b>CB228-035</b>	118,260	4182.6	101.74%
<b>CB128-100</b>	124,595	4,406.64	107.19%
<b>CB228-100</b>	122,260	4,324	105.18%

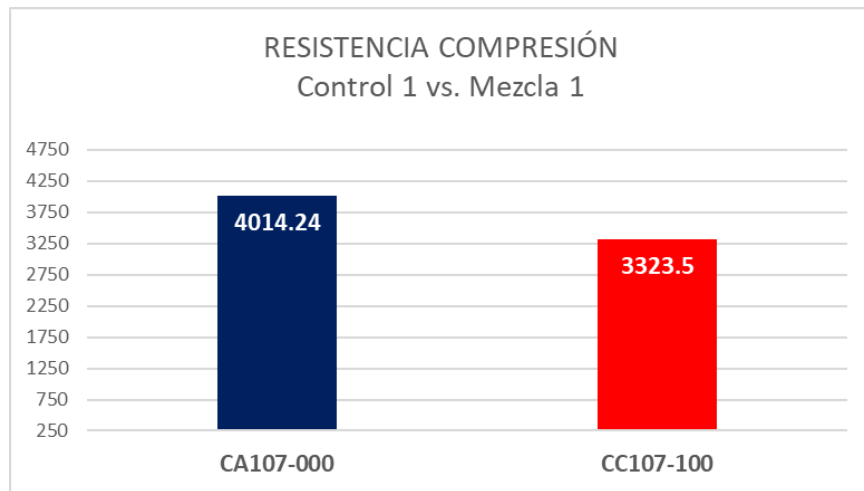
Fuente: Propia

Se puede observar que los resultados a compresión de las mezclas con sustitución y controles alcanzaron, en su mayoría, el 100% de la resistencia esperada con relación a su diseño. Dicho lo anterior, es preciso concluir que ambos porcentajes de sustitución cumplen con los

requerimientos de compresión para ser utilizados en un pavimento hidráulico. Adicionalmente, se presentan graficas comparativas de cada mezcla contra su respectivo control para tener una mejor visualización de los resultados.

A los 7 días de edad:

La Ilustración 121 muestra la comparación de las resistencias a compresión obtenidas a los 7 días de edad de los testigos para la mezcla control 1 y la mezcla 1.

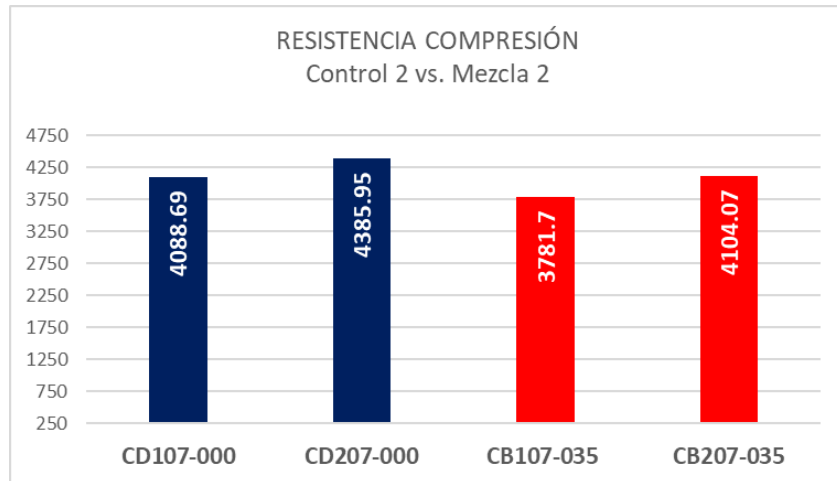


**Ilustración 121. Gráfica comparativa de Resistencia a compresión C1vsM1 (7Días)**

Fuente: Propia

Se muestra, en la imagen anterior, que la mezcla 1 quedó debajo del control por 690.74 Psi.

La Ilustración 122 muestra una gráfica comparativa de los resultados a compresión a los 7 días de edad de la mezcla control 2 contra la mezcla 2.

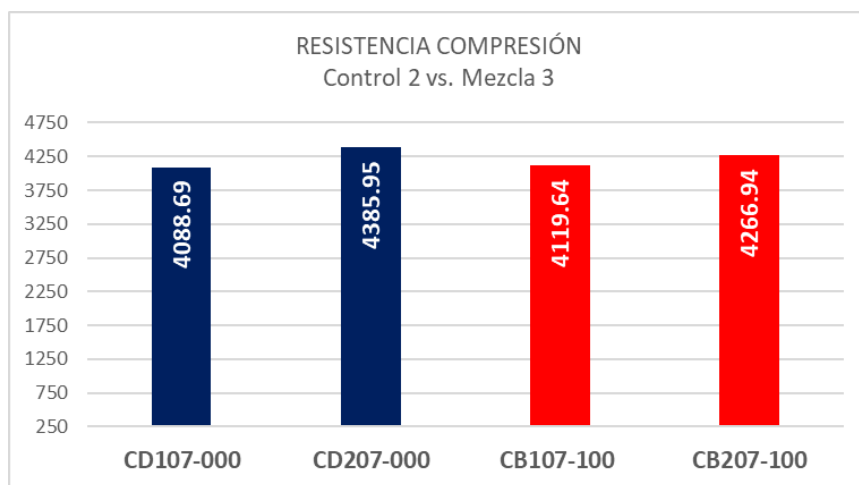


**Ilustración 122. Gráfica comparativa de Resistencia a compresión C2vsM2 (7Días)**

Fuente: Propia

Se tienen promedios de 4,237.32 Psi para el control y 3,942 Psi para la mezcla 2 con sustitución de 35%, obteniendo una diferencia de 295.32 Psi.

Por último, se presentan en la Ilustración 123, las gráficas comparativas para la mezcla control 2 contra la mezcla 3 con sustitución del 100%.



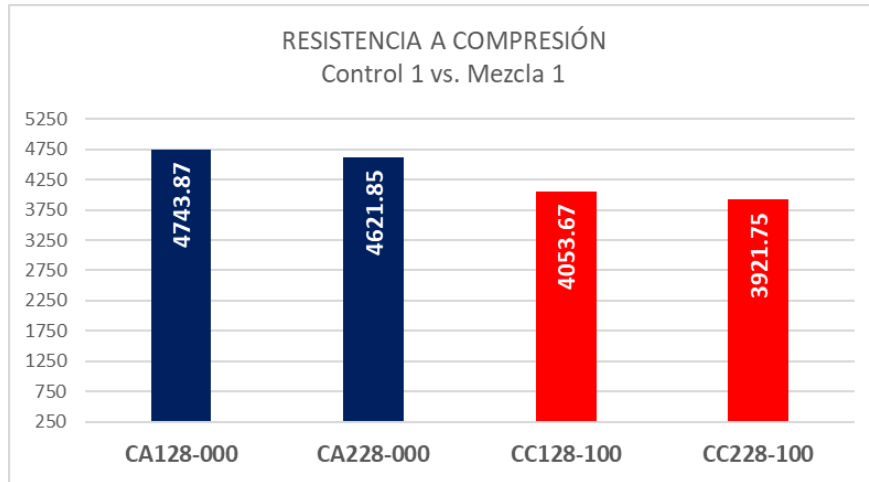
**Ilustración 123. Gráfica comparativa de Resistencia a compresión C2vsM3 (7Días)**

Fuente: Propia

Se obtuvieron promedios de 4,237 Psi para la mezcla control y 4,193.29 Psi para la mezcla 3 habiendo una diferencia de apenas 43.71 Psi.

A los 28 días de edad:

La Ilustración 124 muestra la comparación de las resistencias a compresión obtenidas a los 28 días de edad de los testigos para la mezcla control 1 y la mezcla 1.

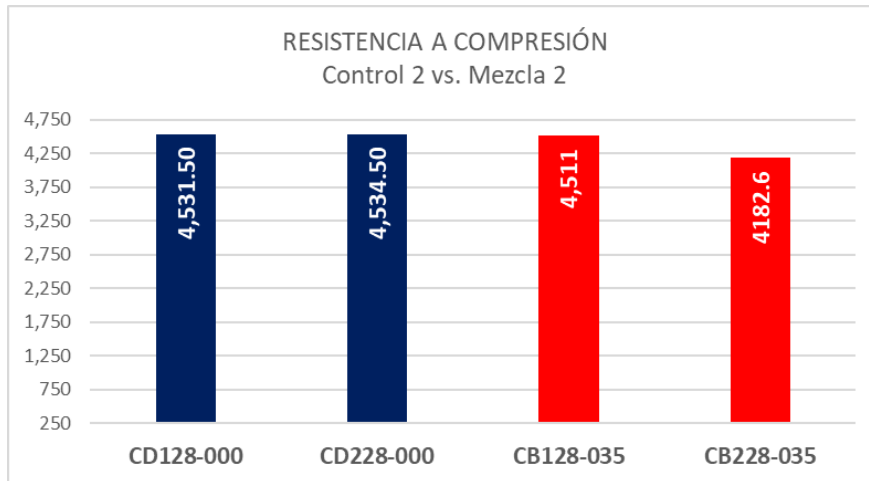


**Ilustración 124. Gráfica comparativa de Resistencia a compresión C1vsM1 (28Días)**

Fuente: Propia

La mezcla control alcanzó un promedio de 4,682.85 Psi y 3,987.71 Psi para la mezcla 3 con una diferencia de 695 Psi.

La Ilustración 125 muestra una gráfica comparativa de los resultados a compresión a los 7 días de edad de la mezcla control 2 contra la mezcla 2.

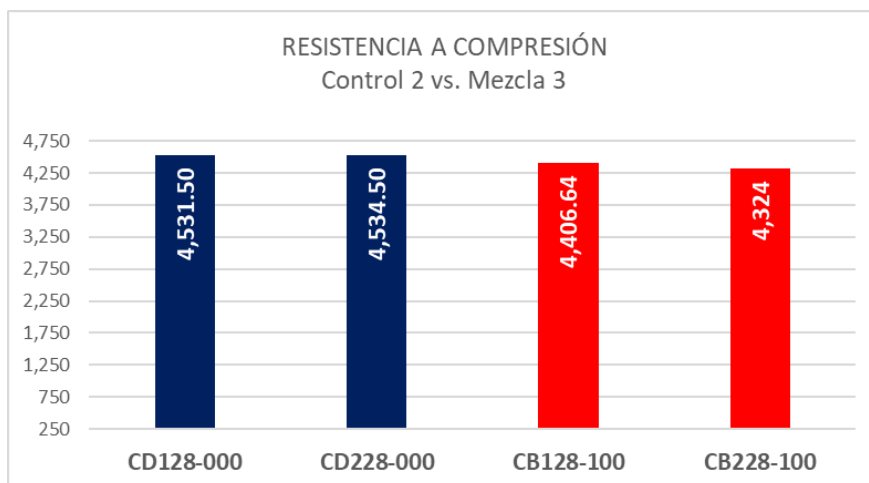


**Ilustración 125. Gráfica comparativa de Resistencia a compresión C2vsM2 (28Días)**

Fuente: Propia

Se tienen promedios de 4,533 Psi para el control y 4,346 Psi para la mezcla 2 con sustitución de 35%, obteniendo una diferencia de 187 Psi.

Por último, se presentan en la Ilustración 126 , las gráficas comparativas para la mezcla control 2 contra la mezcla 3 con sustitución del 100%.



**Ilustración 126. Gráfica comparativa de Resistencia a compresión C2vsM3 (28Días)**

Fuente: Propia

Se obtuvieron promedios de 4,533 Psi para la mezcla control y 4,365 Psi para la mezcla 3 habiendo una diferencia de 168 Psi.

### 5.12.3 RESISTENCIAS A FLEXIÓN

La Tabla 56, muestra un resumen de los resultados obtenidos a los 7 y 28 días de edad de los testigos con sus cargas máximas a flexión en libras, módulo de rotura (MR) y porcentaje alcanzado relativo al diseño (600 Psi).

**Tabla 56. Resumen de resultados resistencia a flexión de los testigos**

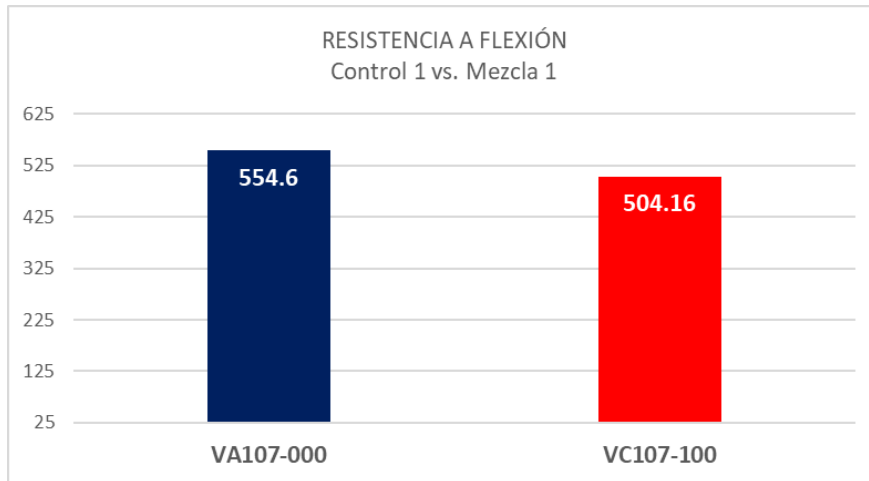
<b>TESTIGOS (7 días)</b>	<b>Carga Máxima (Lbs)</b>	<b>Resistencia Flexión (PSI)</b>	<b>Porcentaje Relativo a Diseño (600MR)</b>
<b>VA107-000</b>	6,655	554.6	92.43%
<b>VC107-100</b>	6,050	504.16	84.03%
<b>VD107-000</b>	7,155	596.25	99.38%
<b>VD207-000</b>	7,090	590.83	98.47%
<b>VB107-035</b>	6,165	513.75	85.63%
<b>VB207-035</b>	6,680	556.67	92.78%
<b>VB107-100</b>	7,030	585.83	97.64%
<b>VB207-100</b>	6,775	564.6	94.10%
<b>TESTIGOS (28días)</b>			
<b>VA128-000</b>	7,385	615.42	102.60%
<b>VA228-000</b>	7,580	632.00	105.27%
<b>VC128-100</b>	6,045	504.00	84.00%
<b>VC228-100</b>	6700	558.33	93.05%
<b>VD128-000</b>	8,420	701.66	116.94%
<b>VD228-000</b>	7,425	618.75	103.13%
<b>VB128-035</b>	7,230	602.50	100.42%
<b>VB228-035</b>	6,960	580.00	96.67%
<b>VB128-100</b>	7,310	609.17	101.53%
<b>VB228-100</b>	6,875	572.92	95.49%

Fuente: Propia

Se puede observar que, igual a los resultados de compresión, los resultados a flexión de las mezclas con sustitución y controles alcanzaron en su mayoría el 100% de la resistencia esperada con relación a su diseño a los 28 días de edad. Es preciso concluir que ambos porcentajes de sustitución cumplen con los requerimientos de flexión para ser utilizados en un pavimento hidráulico. Nuevamente, se presentan graficas comparativas de cada mezcla contra su respectivo control para tener una mejor visualización de los resultados.

A los 7 días de edad:

La Ilustración 127 muestra la comparación de las resistencias a flexión obtenidas a los 7 días de edad de los testigos para la mezcla control 1 y la mezcla 1.

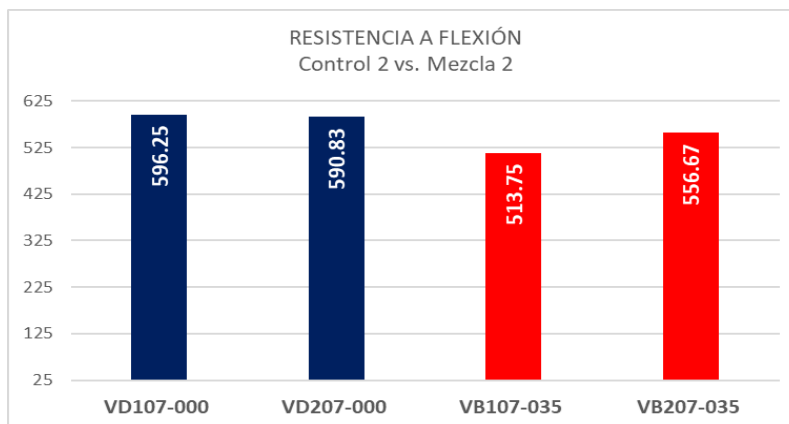


**Ilustración 127. Gráfica comparativa de Resistencia a flexión C1vsM1 (7Días)**

Fuente: Propia

Se muestra, en la imagen anterior, que la mezcla 1 quedó debajo del control por 50.44 Psi.

La Ilustración 128 muestra una gráfica comparativa de los resultados a flexión a los 7 días de edad de la mezcla control 2 contra la mezcla 2.



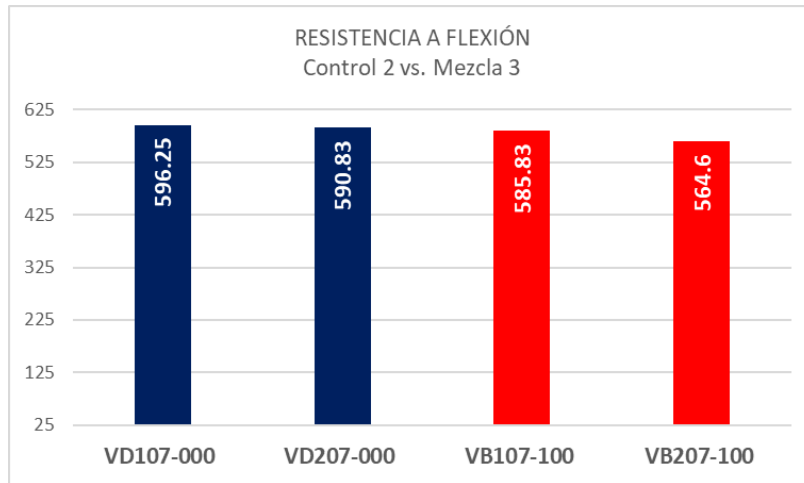
**Ilustración 128. Gráfica comparativa de Resistencia a flexión C2vsM2 (7Días)**

Fuente: Propia

Se tienen promedios de 593.54 Psi para el control y 535.21 Psi para la mezcla 2 con sustitución de 35%, obteniendo una diferencia de 58.33 Psi.



Por último, se presentan en la Ilustración 129, las gráficas comparativas para la mezcla control 2 contra la mezcla 3 con sustitución del 100%.



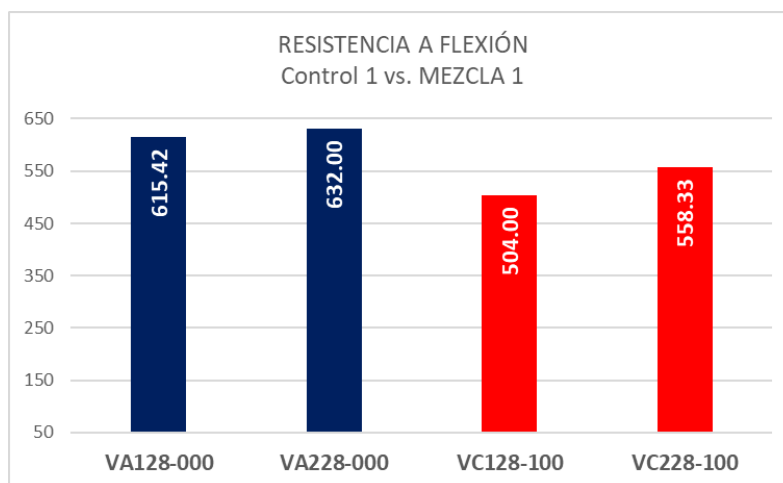
**Ilustración 129. Gráfica comparativa de Resistencia a flexión C2vsM3 (7Días)**

Fuente: Propia

Se obtuvieron promedios de 593.54 Psi para la mezcla control y 575.22 Psi para la mezcla 3 habiendo una diferencia de 18.32 Psi.

A los 28 días de edad:

La Ilustración 130 muestra la comparación de las resistencias a flexión obtenidas a los 28 días de edad de los testigos para la mezcla control 1 y la mezcla 1.

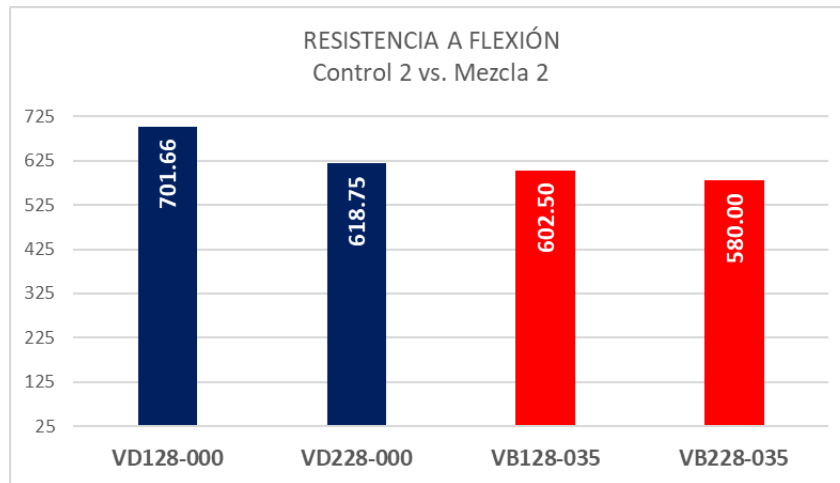


**Ilustración 130. Gráfica comparativa de Resistencia a flexión C1vsM1 (28Días)**

Fuente: Propia

La mezcla control alcanzó un promedio de 623.71 Psi y 531.16 Psi para la mezcla 3 con una diferencia de 92.55 Psi.

La Ilustración 131 muestra una gráfica comparativa de los resultados a flexión a los 7 días de edad de la mezcla control 2 contra la mezcla 2.

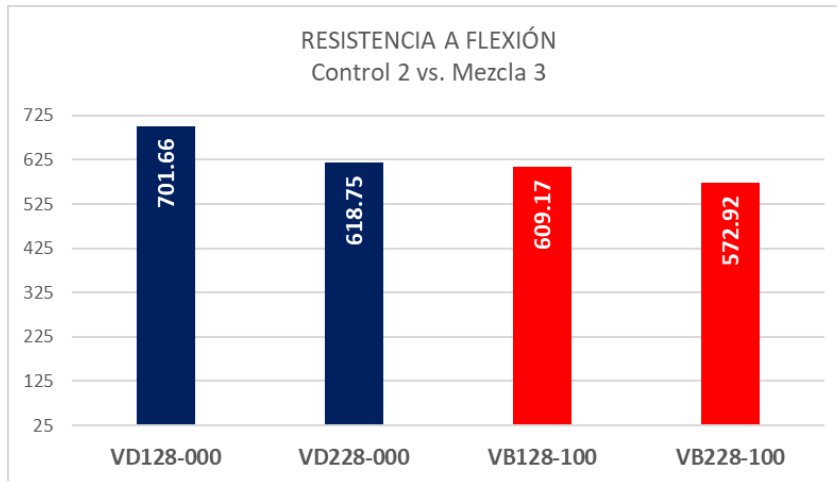


**Ilustración 131. Gráfica comparativa de Resistencia a flexión C2vsM2 (28Días)**

Fuente: Propia

Se tienen promedios de 660.21 Psi para el control y 591.25 Psi para la mezcla 2 con sustitución de 35%, obteniendo una diferencia de 68.96 Psi.

Por último, se presentan en la Ilustración 132, las gráficas comparativas para la mezcla control 2 contra la mezcla 3 con sustitución del 100%.



**Ilustración 132. Gráfica comparativa de Resistencia a flexión C2vsM3 (28Días)**

Fuente: Propia

Se obtuvieron promedios de 660.21 Psi para la mezcla control y 591.45 Psi para la mezcla 3 habiendo una diferencia de 68.76 Psi.

## CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES

- 1) Al analizar las propiedades físicas entre los agregados ordinario y reciclado, se concluye que solamente el agregado reciclado tamaño 467 se podría emplear de manera segura en un pavimento cumpliendo los requerimientos de norma. Lo anterior porque el agregado reciclado #4 no cumple con los requisitos de resistencia al desgaste por la máquina de los Ángeles teniendo este un 36% de desgaste, a diferencia de los agregados tamaño 467 ordinario y reciclado los cuales satisfacen todos los requisitos para su uso.
- 2) Todos los testigos de concreto reciclado cumplen con la resistencia de diseño esperada llegando a 4,111 psi de resistencia a compresión. En cuanto a la resistencia a flexión, los testigos dieron resultados promedio de 591 PSI en comparación a la resistencia esperada de 600 psi. Dicho lo anterior, se aceptan las hipótesis de investigación  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ ,  $H_4$ ,  $H_5$ ,  $H_6$ .
- 3) En base a los resultados obtenidos en la prueba de desgaste de los Ángeles, el material reciclado #4 con el que se realizó la mezcla 1, no cumple con la resistencia a la abrasión recomendada por la norma ASTM C-131. Dicho lo anterior, el tamaño del material en cuestión no debe utilizarse para un pavimento de concreto hidráulico. Sin embargo, el agregado reciclado #4 cumple con todas las demás propiedades de un concreto estructural.
- 4) Para determinar el porcentaje óptimo de sustitución, se escogió la mezcla que presentó propiedades físicas y mecánicas iguales o similares a las de una mezcla de concreto hidráulico ordinario. Se determinó que la mezcla 3 con 100% de sustitución es óptima por cumplir con las propiedades anteriormente mencionadas. Adicionalmente, al ser la totalidad del agregado grueso sustituido es más fácil la elaboración de la mezcla.
- 5) Según datos obtenidos del departamento de ingeniería de CONETSA, se tomó una producción mensual de 6,000 metros cúbicos de concreto. Con respecto a en cuanto volumen de la cantidad de producción de concreto puede implementarse el concreto reciclado se concluyó que la única limitante es la disponibilidad de los testigos por lo que puede ser implementado en su totalidad. Adicionalmente, el costo mensual de producción de un concreto 4000 PSI ordinario y concreto 4000 PSI con agregados reciclados considerando los precios calculados anteriormente y una producción de 6,000 metros cúbicos es de L 13,596,000 para concreto ordinario y L 13,532,760. En base a lo anterior, se concluye que el ahorro en producción

mensual implementando concreto reciclado es de L63,237.00 y anualmente esto equivale a un ahorro promedio de L 758,844.00.

## **CAPÍTULO VIII. RECOMENDACIONES**

- 1) Evitar el uso de residuos de bloques, aceras, morteros o cualquier material proveniente de elementos que no fueron diseñados con uso estructural.
- 2) Se recomienda realizar una investigación ramificada sobre el uso de residuos de bloque como agregado fino en una mezcla de concreto hidráulico y así evaluar sus propiedades físicas y mecánicas.
- 3) En futuras investigaciones, se recomienda sea indispensable la disponibilidad de una trituradora de impacto para la obtención del agregado reciclado.
- 4) Elaborar un mínimo de seis testigos por mezcla a evaluar para obtener resultados estadísticos más confiables.
- 5) Elaborar las mezclas a evaluar y mezclas de control el mismo día y bajo las mismas condiciones.
- 6) Realizar un análisis del porcentaje de caras fracturadas para cada agregado.
- 7) Comparar el peso de un metro cúbico de concreto con agregados reciclados contra un metro cúbico de concreto con agregados ordinarios.
- 8) Se propone una investigación sobre el reciclado de concreto fresco.
- 9) Hacer uso de placas de neopreno al momento de realizar la prueba de compresión a los cilindros.
- 10) Al transportar los testigos, elaborar una cama de arena para evitar el deterioro de los testigos por rozamiento o golpes

## CAPÍTULO IX. APLICABILIDAD

En base a el estudio realizado y los resultados obtenidos para la mezcla de concreto producido con agregados reciclados se confirma que este cumple con los requisitos, características y propiedades necesarias para producir concreto con una resistencia a compresión de 4000 PSI y a flexión de 600 PSI habiendo un ahorro significativo en su producción como se detalla a continuación en el análisis de producción mediante fichas de costos para uso comparativo.

**Tabla 57. Ficha de costo de concreto ordinario**

ANALISIS DE COSTO					
Proyecto :			Concreto =	4,000 PSI ø 1-1/2"	
Volumen :	6,000.00	m <sup>2</sup> / mes	Ubicación =	SAN PEDRO SULA	
<b>A.- MATERIALES</b>					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad (und/m <sup>3</sup> )	Precio Unitario (Lps/und)	Sub- Total (Lps/m <sup>3</sup> )
1	Cemento Tipo I (producto)	kgs	325.00	4.12	1338.71
2	Cemento Tipo I (flete)	kgs	325.00	0.13	43.75
3	Arena triturada	m <sup>3</sup>	0.650	180.00	117.00
4	Arena triturada (flete)	m <sup>3</sup>	0.650	45.00	29.25
5	Grava de 3/4"	m <sup>3</sup>	0.195	200.00	39.00
6	Grava de 3/4" (flete)	m <sup>3</sup>	0.195	45.00	8.78
7	Grava ø 1½"	m <sup>3</sup>	0.455	200.00	91.00
8	Grava ø 1½" (flete)	m <sup>3</sup>	0.455	45.00	20.48
9	Aditivo IMI RB-100	lts	1.27	24.85	31.59
10	Agua	gal	1.00	3.11	3.11
				<b>TOTAL, Lps/m<sup>3</sup></b>	<b>1,722.65</b>
<b>B.- EQUIPO: COSTO DE OPERACION</b>					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Lps/und)	Sub- Total (Lps/m <sup>3</sup> )
1	Cargadora Hyunday	hr	0.0278	650.0000	18.07
2	Dosificadora ERIE	hr	0.0029	1700.0000	4.93
3	Camión mixer	hr	0.2857	550.0000	157.14
4	Generador de Energía	gbl	0.0024	450.0000	1.08
5	Compresor	hrs	0.0185	320.0000	5.92
				<b>Lps/m<sup>3</sup></b>	<b>187.14</b>

C.- MANO DE OBRA					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Lps/und)	Sub-Total (Lps/m³)
1	Operador de dosificadora	Hrs	0.0400	111.28	4.45
2	Ayudante de dosificadora	Hrs	0.0800	93.86	7.51
3	Operador de cargadora	Hrs	0.0400	102.72	4.11
4	Motorista de mixer	Hrs	0.3200	102.72	32.87
5	Laboratorista	Hrs	0.1200	102.72	12.33
				<b>Lps/m³</b>	<b>61.27</b>

<b>COSTOS DIRECTOS</b>	Lps/m³	L. 1,971.06
Costos indirectos	%	15%
Costos indirectos	Lps/m³	L. 295.66
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Lps/m³</b>	<b>L. 2,266.72</b>

Fuente: CONETSA (2018)

Se puede observar en la Tabla 57, el desglose de costos totales para un metro cubico de concreto ordinario proporcionado por la empresa CONETSA siendo este un total de L 2,266.72. Dicho lo anterior se prosigue a compararlo con una ficha de costo para un metro cubico de concreto con un porcentaje de sustitución de 100% agregado reciclado.

Posterior al análisis comparativo entre las fichas de costo, se detalla a continuación el costo de un metro cúbico de grava reciclada.

### 9.1 COSTO Y DETALLE DE GRAVA RECICLADA

Dentro de la investigación con el departamento de Ingeniería de CONETSA se pudo obtener el costo por acarreo de los testigos de concreto (Materia Prima) desde el plantel olímpico hasta la planta de Chamelecón es de L 4.50 por metro cúbico/kilómetro. La distancia entre los planteles es de 10km lo que equivale a L 45.00 / m³. Con respecto al volumen de testigos que ingresan al plantel diariamente se tomó un promedio de 25 cilindros siendo esto un total al mes de 600 cilindros. Adicionalmente, CONETSA confirmó que la proporción de grava en una dosificación común es de 0.63m³ de grava o agregado grueso por metro cúbico de concreto 4000 PSI.

Se debe tomar en cuenta que para la producción de la grava reciclada se debe hacer uso de la trituradora ERIE en el plantel de CONETSA lo cual tiene un costo promedio de \$3.00 (L 73.45) por



metro cúbico procesado. Dicho lo anterior se concluye que el costo directo para un metro cúbico de grava reciclada es de L 45.00 más L 73.45 dando un total de **L 118.45 / m3**.

**Tabla 58. Ficha de costo de concreto con grava reciclada**

ANALISIS DE COSTO					
Proyecto :				Concreto =	4,000 PSI ø 1-1/2" REICLADO
Volumen :	6,000.00	m <sup>2</sup> / mes	Ubicación =	SAN PEDRO SULA	
<b>A.- MATERIALES</b>					
Item	Descripcion	Unidad	Cantidad (und/m <sup>3</sup> )	Precio Unitario (Lps/und)	Sub-Total (Lps/m <sup>3</sup> )
1	Cemento Tipo I (producto)	kgs	325.00	4.12	1338.71
2	Cemento Tipo I (flete)	kgs	325.00	0.13	43.75
3	Arena triturada	m <sup>3</sup>	0.650	180.00	117.00
4	Arena triturada (flete)	m <sup>3</sup>	0.650	45.00	29.25
5	Grava de 3/4"	m <sup>3</sup>	0.000	200.00	0.00
6	Grava de 3/4" (flete)	m <sup>3</sup>	0.000	45.00	0.00
7	Grava ø 1½" REICLADA	m <sup>3</sup>	0.630	118.45	74.62
8	Grava ø 1½" REICLADA (flete)	m <sup>3</sup>	0.630	45.00	28.35
9	Aditivo IMI RB-100	lts	1.27	24.85	31.59
10	Agua	gal	1.00	3.11	3.11
<b>TOTAL, Lps/m<sup>3</sup></b>					<b>1,666.38</b>

B.- EQUIPO: COSTO DE OPERACION					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Lps/und)	Sub-Total (Lps/m <sup>2</sup> )
1	Cargadora Hyundai	hr	0.0278	650.0000	18.07
2	Dosificadora ERIE	hr	0.0029	1700.0000	4.93
3	Camión mixer	hr	0.2857	550.0000	157.14
4	Generador de Energía	gbl	0.0024	450.0000	1.08
5	Compresor	hrs	0.0185	320.0000	5.92
6	Trituradora	m3	0.6300	73.7700	46.48
<b>Lps/m<sup>2</sup></b>					<b>233.62</b>

C.- MANO DE OBRA					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Lps/und)	Sub-Total (Lps/m <sup>2</sup> )
1	Operador de dosificadora	Hrs	0.0400	111.28	4.45
2	Ayudante de dosificadora	Hrs	0.0800	93.86	7.51
3	Operador de cargadora	Hrs	0.0400	102.72	4.11
4	Motorista de mixer	Hrs	0.3200	102.72	32.87
5	Laboratorista	Hrs	0.1200	102.72	12.33
<b>Lps/m<sup>2</sup></b>					<b>61.27</b>

COSTOS DIRECTOS	Lps/m <sup>3</sup>	L. 1,961.27
Costos indirectos	%	15%
Costos indirectos	Lps/m <sup>3</sup>	L. 294.19
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Lps/m<sup>3</sup></b>	<b>L. 2,255.46</b>

Fuente: Propia (2019)

Se puede observar de la Tabla 58, el desglose de costos para un concreto producido con grava reciclada proveniente de residuos de construcción y testigos de concreto dando este un total por metro cúbico de L 2,255.46.

En base a lo anterior, se concluye que el ahorro en producción mensual implementando concreto reciclado es de L63,237.00 y anualmente esto equivale a un ahorro promedio de L 758,844.00.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alaejos , P. (2011). *Puente sobre el rio turia entre Manises y Paterna (Valencia). Primera experiencia internacional de empleo de hormigon reciclado estructural en un puente atirantado(Parte II)*. Obtenido de dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3757265>
- Alaejos , P., Domingo , A., Lázaro , C., Monleon , S., & Sánchez , M. (2011). PUENTE RECICLADO SOBRE EL RIO TURIA EN MANISES (VALENCIA). *III CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS* , pág. 2.
- American Concrete Institute . (2014). Práctica estándar para proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y masivo . En *ACI 211.1-91* (pág. 7).
- American Concrete Institute. (2015). Guía para la evaluación de resultados de pruebas de resistencia del concreto. En *ACI 214 R-11* (pág. 10).
- Anónimo. (21 de Febrero de 2006). *Notimérica*. Obtenido de <https://www.notimerica.com/sociedad/noticia-honduras-comunidades-honduras-construyen-viviendas-tanques-almacenamiento-agua-materiales-reciclados-20060221130550.html>
- Anónimo. (2018). *La enciclopedia libre*.
- Argueta, B. (11 de Agosto de 2017). Utila posee la primera calle de plastico reciclado en Honduras . *El tiempo* .
- ARQHYS. (2012). Cilindros de concreto. *Revista ARQHYS*.
- ASTM. (s.f.). *Manual de laboratorio para ensayos* .

Blamur, J. M. (2011). *ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO*. Obtenido de INGENIERÍA CIVIL.

Bobadilla, R. (2012). En *Estado del Arte del aprovechamiento del concreto reciclado* (pág. 237).

Bodden, T. (11 de Agosto de 2017). Utila posee la primera calle de plástico reciclado en Honduras. . (B. Argueta, Entrevistador)

Cañas, J. (2009). *ANALISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR TAMIZADO*.

CEDEX. (Noviembre de 2014). *Catálogo de Residuos de utilizables en construcción*. Obtenido de <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/35/residuos-de-construccion-y-demolicion/>

Construccion, M. d. (s.f.). Agregados .

David , I., Landa , K., & Moreno , N. (2018). *Estudio del comportamiento a cortante y a compresion en el concreto hidraulico con residuos de plastico*. . San Pedro Sula, Honduras: UNITEC.

FHWA, U. (2004). *Transportation Applications of Recycled Concrete Aggregate*. Washington, DC, USA: State of the Practice National Review.

Fisher, C., & Werge, M. (February de 2009). *EU as a Recycling Society* . Obtenido de Eionet: <http://scp.eionet.europa.eu.int>

Froese, A. (02 de Febrero de 2006). *Comunidades de Honduras construyen viviendas y tanques de almacenamiento de agua con materiales reciclados*. (Anónimo, Entrevistador)

Gambhir, M. (2014). *BUILDING AND CONSTRUCTION MATERIALS*.

Guardado , S., Umanzor , I., & Nuñez, B. (2017). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO HIDRÁULICO CON FIBRA DE COCO*. San Pedro Sula, Honduras: UNITEC.

Gutierrez de Lopez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construccion* . Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Harmsen. (2005). *Agregados de Construccion*.

Hernández Sampieri, R. (2010). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hil.

Hernández Sampieri, R. (2010). *Metodología de la Investigación* . McGraw-Hill.

Hernández, J. D., Rodríguez, M. A., Macht, A., & Ramos, E. (2008). EL MANEJO DE LOS RESIDUOS DE LA CONTRUCCIÓN EN EL ESTADO DE MÉXICO EN EL MARCO DE LA COOPERACIÓN TÉCNICA ALEMANA EN MÉXICO. *DELOS: DESARROLLO LOCAL SOSTENIBLE*.

Hernández, J., Rodríguez, M., Macht, A., & Ramos, E. (2008). El Manejo de los residuos de la construcción en el estado de mexico en el marco de la cooperación técnica alemana en Mexico. *Delo: Desarrollo Local Sostenible* .

IMCYC. (2008). *EL CONCRETO EN LA OBRA*.

Jiménez , J., Agrela, F., Ayuso , J., & López , M. (2011). *Estudio comparativo de los áridos reciclados de hormigón y mixtos como material para subbases de carreteras*. Córdoba , España: Universidad de Córdoba .

Kosmatka, S. H. (2004). *DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO*.

Landers, E. (1984). *Non-Parametric Statistics*.

Lund, A., & Lund, M. (2018). *Mann Whitney U Test in SPSS Statistics*. Recuperado el 2018, de Laerd Statistics: <https://statistics.laerd.com/aboutus.php>

Malesev, M., Radonjanin, V., & Marinkovic, S. (2010). Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production .

Masood, A., Ahmad, T., Arif, M., & Mahdi, F. (2002). Waste Management Strategies for concrete. En *Environmental Engineering and Policy* (págs. 15-18).

McMillian, F., Tuthill, & Lewis, H. (1989). Cartilla del Concreto . México D.F: IMCYC .

Mera, C. J. (2018). *Análisis de impacto ambiental por la inadecuada disposición de residuos de la construcción y demolición en el valle de México y propuestas de solución*. Obtenido de revista.unam.mx: <http://revistas.unam.mx/index.php/aidi>

Moran , D. E., Ramos , C., & Hawith , A. (2018). *Diseño de mezcla asfáltica en caliente modificada con polimeros reciclados*. . San Pedro Sula, Honduras : UNITEC.

Natalini, M. B., Klees, D. R., & Tirner, J. (2000). *Reciclaje y reutilización de materiales residuales de construcción y demolición* . Obtenido de unne.edu.ar: [http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2000/7\\_tecnologicas/t\\_pdf/t\\_013.pdf](http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2000/7_tecnologicas/t_pdf/t_013.pdf)

Neville, A. (1989). Tecnología del concreto . Mexico: Editorial Limusa S.A DE C.V.

Nilson , A. H. (1999). *Diseño de estructuras de concreto* . Santafe de Bogota, Colombia : McGraw-Hill.

- Noguchi, T. (2005). An Outline of Japanese Industrial Standards (JIS) as Related to Sustainability. En *International Symposium on Sustainable Development of Cement, Concrete and Concrete* (págs. 407-422). Toronto, Ontario.
- NRMCA. (s.f.). Resistencia a la Flexión del concreto. *El concreto en la práctica* .
- Olorunsogo, F. T., & Padayachee, N. (2002). Performance of Recycled Aggregate Concrete. En F. T. Olorunsogo, & N. Padayachee, *Cement and Concrete Research, V32, No. 2* (págs. 179-185).
- Poon, C., Azhar, S., & Kou, S. (2003). Recycled aggregates for concrete applications. En *Proceeding of the Materials Science and Technology in Engineering Conference - Now, New and Next* (pág. 16). Hong Kong .
- Rahal, K. (2007). Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate . En *Building and Environment* (págs. 407-415). Kuwait : Department of Civil Engineering Kuwait University .
- Sanchez, M. (2004). *Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural*. Obtenido de Dialnet.
- Sanchez de Juan, M., & Gutierrez, P. (2004). Influence of recycled aggregate quality on concrete properties. En *The use of Recycled Materials in Building and Structures* (págs. 545-553). Barcelona, Spain, Spain.
- Silva, A., Pavón, M., & Hernández, L. (2013). *Relación de la resistencia a la compresión y módulo de ruptura del concreto hidráulico* . San Pedro Sula: UNITEC INNOVARE.

- Soto, I. (22 de June de 2018). *Diferencia entre Pruebas Paramétricas y No Paramétricas*. Recuperado el 2018, de Diferencias.info: <https://diferencias.info/diferencia-entre-pruebas-parametricas-y-no-parametricas/>
- Soutsos , M., Tang , K., & Millard, S. G. (Julio de 2011). *Use of recycled demolition aggregate in precast products, phase II: Concrete Paving Blocks* . Obtenido de ScienceDirect : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061810007014>
- Taylor, Francis , & Hansen, T. (1992). *Recycling of Demolished Concrete Masonry*. Oxfordshire, UK.
- UNITEC. (2010). Conceptos. En *Manual de laboratorio*. Tegucigalpa .
- Universidad Centroamericana "Jose Simeon Cañas ". (s.f.). Prueba de Revenimiento. En *Maul de laboratorio de Materiales de Construcción*. San Salvador, El Salvador.
- Vegas, I., Azkarate , I., Juarrero, A., & Frías, M. (Julio de 2009). *Diseño y prestaciones de morteros de albañilería elaborados con aridos reciclados procedentes de escombros de hormigón* . Obtenido de Digital.csic.es: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/26693/1/183.pdf>
- Wigodski, J. (14 de Julio de 2010). *Metodología de la Investigación* . Obtenido de <http://metodologiaeninvestigacion.blogspot.com/2010/07/poblacion-y-muestra.html>
- Yepes, V. (2017). *CORRECCIÓN DE HUMEDAD EN LOS ÁRIDOS EN LA FABRICACIÓN DEL HOMRIGÓN*.
- Yepes, V. (2017). *CORRECCIÓN DE HUMEDAD EN LOS ÁRIDOS EN LA FABRICACIÓN DEL HOMRIGÓN*.



# ANEXOS

## Anexo A. Sección 18 de Norma ASTM-C94

### C94/C94M – 17a

17.6.2 If the measured slump or slump flow, or air content, or both is less than the lower limit, permit adjustments in accordance with 12.7 or 8.3 or both, as appropriate, and obtain a new sample. If the sample of the adjusted concrete fails, a check test shall be made immediately on a new sample of the adjusted concrete. In the event the check test fails, the concrete shall be considered to have failed the requirements of the specification.

#### 18. Strength

18.1 When strength is used as a basis for acceptance of concrete, standard specimens shall be made in accordance with Practice C31/C31M. The specimens shall be cured under standard moisture and temperature conditions in accordance with the applicable provisions of Practice C31/C31M. The technician performing the strength test shall be certified as an ACI Concrete Strength Testing Technician, Concrete Laboratory Testing Technician—Grade II or by an equivalent written and performance test program covering the relevant test methods. If acceptance is based upon compressive strength test results, the certification requirement is satisfied by certification as an ACI Concrete Laboratory Testing Technician—Grade I or by an equivalent written and performance test program.

18.2 For a strength test, at least two standard test specimens shall be made from a composite sample secured as required in Section 17. A test shall be the average of the strengths of the specimens tested at the age specified in 6.4.1.1 or 6.6.1.1 (Note 25). If a specimen shows definite evidence other than low strength, of improper sampling, molding, handling, curing, or testing, it shall be discarded and the strength of the remaining cylinder shall then be considered the test result.

NOTE 25—Additional tests may be made at other ages to obtain information for determining form removal time or when a structure may be put in service. Specimens for such tests are cured according to the section on Field Curing in Practice C31/C31M.

18.3 The representative of the purchaser shall ascertain and record the delivery-ticket number for the concrete and the exact

location in the work at which each load represented by a strength test is deposited.

18.4 To conform to the requirements of this specification, strength tests representing each class of concrete must meet the following two requirements (Note 26):

18.4.1 The average of any three consecutive strength tests shall be equal to, or greater than, the specified strength,  $f'_c$ , and

18.4.2 When the specified strength is 35 MPa [5000 psi] or less, no individual strength test (average of two cylinder tests) shall be more than 3.5 MPa [500 psi] below the specified strength,  $f'_c$ .

NOTE 26—Due to variations in materials, operations, and testing, the average strength necessary to meet these requirements will be substantially higher than the specified strength. The amount higher depends upon the standard deviation of the test results and the accuracy with which that value can be estimated from prior data as explained in ACI 214R<sup>6</sup> and ACI 301. Pertinent data are given in Appendix X1.

18.4.3 When the specified strength is greater than 35 MPa [5000 psi], no individual strength test (average of two cylinder tests) shall be less than  $0.90 f'_c$ .

#### 19. Failure to Meet Strength Requirements

19.1 In the event that concrete tested in accordance with the requirements of Section 18 fails to meet the strength requirements of this specification, the manufacturer of the ready-mixed concrete and the purchaser shall confer to determine whether agreement can be reached as to what adjustment or adjustments, if any, shall be made to the mixture proportions, production process, or testing procedures.

NOTE 27—ACI 318-14, Sections 26.12.4 and R26.12.4 (commentary) address when and how low strength test results can be investigated.

#### 20. Keywords

20.1 accuracy; blended hydraulic cement; certification; ready-mixed concrete; scales; testing

<sup>6</sup> ACI 214R-11, "Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete," available from American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, www.concrete.org, 2011, 16 pp.

## Anexo B. Norma ASTM C 39 Resistencia A La Compresión De Testigo Cilíndricos.

### 1. OBJETIVO

1.1 Determina la resistencia a la compresión de testigos cilíndricos de concreto para concretos con pesos unitarios superiores a 800 kg/m<sup>3</sup> (50 lb/pe<sup>3</sup>).

1.2 Consiste en aplicar una carga axial de compresión a testigos preparados a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de éste.

### 2. USO Y SIGNIFICADO

2.1 Los resultados son usados como control de calidad de la proporción del concreto, de su mezclado y operaciones de colocación; para el cumplimiento de especificaciones, y como control para evaluar la efectividad de la mezcla con aditivos y sus usos similares.

### 3. APARATOS

3.1 Máquina de ensayo, Debe ser de un tipo tal que tenga suficiente capacidad de carga y que reúna las condiciones de velocidad descritas en el numeral 5.5.

La verificación de la calibración de la máquina de ensayo estará de acuerdo con la norma correspondiente, "Ensayo normalizado para la verificación de la carga de las máquinas de Ensayo".

Debe operar mecánicamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques.

120

Precisión. La precisión de la máquina de ensayo, determinada con un elemento de calibración elástico, debe cumplir con los siguientes requisitos:

a) El porcentaje de error de las cargas dentro del rango propuesto para la máquina no excederá del  $\pm 1.0\%$  de la carga indicada.

b) La precisión de la máquina de ensayo debe verificarse aplicando cinco (5) cargas de ensayo en cuatro (4) incrementos aproximadamente iguales en orden ascendente. La diferencia entre dos

cargas sucesivas cualquiera no excederá en más de un tercio de la diferencia entre la máxima y la mínima carga de ensayo.

c) La carga del ensayo tal y como se indica por la máquina de ensayo y la carga aplicada calculada a partir de las lecturas de los elementos de verificación, deben registrarse en cada punto de ensayo. Calcule el error, E, y el porcentaje de error, E, para cada punto de esta forma:

$$E = A - B$$

$$E_p = 100(A - B) / B$$

Donde:

A = Carga, N (o lbf) indicada por la máquina que está siendo verificada. B = Carga aplicada, N (o lbf) determinada por el elemento de calibración.

d) En ningún caso el rango de carga debe establecerse incluyendo valores por fuera del rango de cargas que se aplicaron durante el ensayo de verificación.

e) La carga indicada por la máquina de ensayo no debe corregirse ni mediante cálculos, ni mediante el uso de diagramas de calibración para obtener valores dentro de la variación permisible requerida.

3.2 La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga, de acero con caras

121

endurecidas (Nota 1), uno de los cuales es un bloque con rotula el cual descansa sobre la superficie superior de la muestra, y el otro un bloque sólido sobre el cual se colocará el espécimen.

Las superficies de los bloques que están en contacto con el espécimen deben tener una dimensión al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen ensayado. Excepto para los círculos concéntricos descritos a continuación, las caras de carga no deben separarse del plano en más de 0.025 mm en cualquiera de los 152 mm de los bloques de 15.2 mm de diámetro o mayores, o por más de 0.025 mm en cualquier bloque con diámetro más pequeño los bloques nuevos deben fabricarse con la mitad de estas tolerancias.

Cuando el diámetro de la cara de carga con rotula exceda el diámetro del espécimen en más de 13 mm, deben inscribirse círculos concéntricos con una profundidad no mayor de 1.0 mm y un ancho no mayor a 1.0 mm (3/64") para facilitar el centrado.

Nota 1. La dureza "Rockwell" de las caras de los bloques de carga utilizados para este ensayo no debe ser menor a 55 HPC.

El bloque inferior de carga debe cumplir los siguientes requisitos:

- Debe ser adecuado para proveer una superficie maquinada que cumpla con los requerimientos anteriormente indicados (Nota 2). Las superficies superiores e inferiores deben ser paralelas una a la otra. El bloque debe poder asegurarse a la platina de la máquina de ensayo. Su dimensión horizontal menor debe ser al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen ensayado. Los círculos concéntricos que se describen en el numeral 3.2 son opcionales.
- Se hará un centrado final con respecto al bloque superior cuando se use el bloque inferior para ayudar al centrado del espécimen. El centro de los anillos, cuando estos existan, o el centro del bloque mismo debe estar directamente debajo del centro de la rótula.
- El bloque de carga inferior debe tener al menos 25 mm (1") de espesor cuando sea nuevo, y al menos 22.5 mm (0.9") después de cualquier operación de afinado de la superficie.

Nota 2. Si la máquina de ensayo está diseñada de tal forma que la misma plataforma puede mantenerse con su superficie en las condiciones especificadas, no se requerirá un bloque inferior.

122

El bloque de carga con rotula debe cumplir los siguientes requisitos:

- El diámetro máximo de la cara de carga del bloque con rotula no debe exceder los valores que se dan a continuación:

Tabla 24. Especificaciones de los diámetros a utilizar en la prueba de compresión.

Diámetro del espécimen de ensayo (mm)

Diámetro máximo de la cara de carga (mm)

51

102

76

127

102

165

152

254

203

279

Nota 3. Se aceptan las superficies cuadradas, siempre y cuando el diámetro máximo del círculo inscrito más grande no exceda el diámetro indicado.

- El centro de la rótula debe coincidir con el de la superficie de la cara de carga dentro de una tolerancia de 5% del radio de la rótula. El diámetro de la rótula debe ser al menos el 75% del diámetro de la muestra
- La rótula debe ser diseñada de tal forma que el acero en el área de contacto no sufra deformaciones permanentes debido al uso, con cargas de hasta 82.7 MPa (12.000 lb/Pulg<sup>2</sup>) sobre el espécimen de prueba.
- Las superficies de la rótula deben mantenerse limpias y lubricadas con aceite de motor convencional. Después de entrar en contacto con el espécimen y de aplicar una pequeña carga inicial, debe evitarse cualquier movimiento adicional del bloque con rótula.
- Si el radio de la rótula es más pequeño que el radio del espécimen más grande, la porción de la superficie de carga que se extiende más allá de la rótula debe tener un espesor no menor que la diferencia entre el radio de la esfera y el radio del espécimen. La menor dimensión de la superficie de carga debe ser al menos igual al diámetro de la rótula (véase Figura I).
- La porción móvil del bloque de carga debe sostenerse lo más segura que sea posible, pero el diseño debe ser tal que la cara de carga pueda girar libremente e inclinarse al

menos 40 en cualquier dirección.

1.1 Indicador de carga. La escala graduada del dial debe ser tal, que permita leer con una precisión del 1% de la carga total de la escala. (Nota 4). La escala debe tener una línea y un número que indique el cero (0). El puntero debe tener una longitud tal que alcance las marcas indicadoras. El espesor del extremo del puntero no debe exceder la distancia libre entre las graduaciones más pequeñas. Cada dial debe estar equipado con un dispositivo de ajuste al cero, accesible desde afuera, y con un indicador apropiado para que en todo momento y hasta cuando sea reiniciado, indique con una exactitud del 1%, la carga máxima aplicada al espécimen.

Nota 4. La distancia más cercana razonablemente legible, se considera que es 0.5 mm a lo largo del arco descrito por el extremo del puntero.

Si la máquina de ensayos indica la carga en forma digital, el número debe ser suficientemente grande para que sea legible, con un incremento numérico igual o menor del 0.05% de la carga total de la escala y dentro del 1.0% de la carga indicada en cualquier nivel dentro del rango de valores de carga dados.

Se deben realizar los ajustes para que la aguja señale el cero verdadero cuando se encuentre con carga cero (0). Se debe proveer un indicador de carga máxima que, en todo momento, hasta cuando la máquina sea reiniciada, indique con una precisión del 1%, la carga máxima que fue aplicada al espécimen.

## 1. MUESTRAS

1.1 Las muestras no deben ensayarse si cualquier diámetro individual de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro en más del 2% (Nota 5).

Nota 5. Esto puede ocurrir cuando uno de los moldes sea dañado o deformado durante su transporte, cuando se usen moldes flexibles y estos se deformen durante el moldeo, o cuando una muestra perforada se deflece o distorsione durante el proceso de perforación.

1.2 Ninguna de las muestras ensayadas a compresión debe separarse de la perpendicularidad del eje en más de 0.51 (equivalentes a 3 mm en 300 mm aproximadamente). El extremo de una

muestra que no sea plana debe ser refrentado (capping) de acuerdo con lo indicado por la norma MTC E703. El diámetro usado para calcular el área de la sección transversal de la muestra debe determinarse con una precisión de 0.25 mm (0.01") promediando los dos

124

diámetros medidos en ángulo recto uno con respecto al otro y en la mitad del espécimen.

1.3 El número individual de testigos medidos para la determinación del diámetro promedio puede reducirse a uno por cada diez especímenes o tres especímenes por día, lo que sea mayor, si se sabe que todos los testigos han sido hechos con un único lote de moldes reutilizables que consistentemente producen especímenes de diámetro promedio en una variación de 0.51 mm (0.02"). Cuando el diámetro promedio no cae dentro de la variación de 0.51 mm o cuando los cilindros no están hechos con un único lote de moldes, cada uno ensayado debe medirse y el valor encontrado ser usado en los cálculos de la resistencia a la compresión de cada muestra.

1.4 La longitud debe medirse con una aproximación de 0.05 D, siendo D el diámetro del espécimen.

## 2. PROCEDIMIENTO

2.1 El ensayo de compresión de muestras curadas en agua debe hacerse inmediatamente después de que éstas han sido removidas del lugar de curado.

2.2 La muestra se debe mantener húmeda utilizando cualquier método conveniente, durante el período transcurrido desde su remoción del lugar de curado hasta cuando es ensayada. Debe ensayarse en condición húmeda.

2.3 Todos los especímenes de una edad determinada se deben romper dentro de las tolerancias indicadas a continuación:

Tabla 25. Tolerancias requeridas en las diferentes edades para romper las muestras.

Edad de Ensayo

Tolerancia permisible

24

± 0.5 horas a 2.1 %

3

2 horas a 2.8 %

7

6 horas a 3.1 %

28

20 horas a 3.0 %

90

2 días a 2.2 %

Colocación de la muestra. Colóquese el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, directamente debajo del bloque superior. Límpiense con un paño las superficies de los bloques superiores e inferiores y colóquese el espécimen sobre el bloque inferior.

125

Cúidese que el eje del espécimen quede alineado con el centro del bloque superior. El bloque con rotula debe rotarse inmediatamente antes de proceder al ensayo, para asegurar la libertad de movimiento requerida en el numeral 3.2

1.2 Velocidad de carga. Aplíquese la carga continuamente sin golpes bruscos.

- Para las máquinas de ensayo del tipo tornillo, la cabeza móvil debe desplazarse a una velocidad de 1.3 mm/min (0.05 pulg/min) cuando la máquina está operando sin transmitir carga. Para las máquinas hidráulicamente operadas la carga debe aplicarse a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de carga comprendida en el rango de 0.14 a 0.34

MPa/s (20 a 50 lb/ Pulg<sup>2</sup> -seg.). La velocidad escogida se debe mantener al menos durante la segunda mitad del ciclo de ensayo, para la fase de carga prevista.

- Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad de carga mayor.



1.3 Aplíquese la carga hasta que la muestra falle y regístrese la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo. Anótense el tipo de falla y la apariencia del concreto.

### 3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 Calcúlese la resistencia a la compresión, dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, por el promedio del área de la sección transversal determinada en la forma descrita en el numeral 4.3, y expresando el resultado con una aproximación de 70 kPa (10 Psi).

3.2 Si la relación entre la longitud del espécimen y el diámetro es menor de 1.8, corríjase el resultado obtenido en el numeral 6.1 multiplicando por el factor apropiado de los que se indican a continuación:

L/D 1.75 1.50 1.25 1.00 Factor: 0.98 0.96 0.93 0.87

Nota 6. Estos factores de corrección se aplican a concretos livianos que pesen entre 1600 y 1920 kg/m<sup>3</sup> y a concretos de peso normal, secos o rígidos al momento de

126

ensayo. Los valores que no se dan en la tabla se pueden obtener por interpolación. Los factores de corrección se

Aplican a concretos con una resistencia entre 13.8 y 41.4 kPa (2000 a 6000 Psi).

3.3 El informe de los resultados debe incluir:

- Número de identificación.
- Diámetro y longitud (mm o pulgada).
- Área de la sección transversal (cm<sup>2</sup> o pulgada<sup>2</sup>).
- Carga máxima (N o lbf)
- Resistencia a la compresión (kPa o Psi).
- Edad del espécimen.
- Defectos en el refrentado del espécimen.

#### 4. Referencias Normativas

ASTM C 39 AASHTO T 22

Anexo C. Norma ASTM C 78 Resistencia A La Flexión Del Concreto Método De La Viga Simple Cargada En Los Tercios De La Luz

##### 1. OBJETIVO

1.1 Establecer el procedimiento para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, por medio del uso de una viga simple cargada en los tercios de la luz.

1.2 El valor del módulo de rotura indicado en MPa (lb/pulg<sup>2</sup>) se considerará como el normalizado.

##### 2. APARATOS

2.1 La máquina de ensayo deberá cumplir con los requerimientos del Apéndice 1 "Bases de verificación, correcciones e intervalos de tiempo entre verificaciones". No serán permitidas las máquinas de ensayo operadas a mano con bombas que no suministren una carga continua

127

en un recorrido. Se permitirán bombas con motor u operadas a mano, con desplazamiento positivo, que tengan suficiente volumen en un golpe continuo, para completar el ensayo sin requerir una nueva carga, siempre y cuando sean capaces de aplicar las cargas a una rata uniforme, sin interrupciones o discontinuidades. El método de carga en los tercios deberá utilizarse en la realización de ensayos de flexión, empleando bloques de carga, los cuales asegurarán que las fuerzas aplicadas a la viga sean perpendiculares a la cara del espécimen y sin excentricidad. En la Figura 1 se muestra un diagrama del aparato que cumple con este

Propósito.

2.2 Todos los aparatos utilizados en el ensayo de flexión del concreto deben ser capaces de mantener la longitud especificada de la luz entre apoyos, y las distancias entre los bloques de aplicación de carga y los bloques de apoyo, constantes, con una tolerancia de  $\pm 1.3$  mm ( $\pm 0.05$ ").

2.3 Las reacciones deberán ser paralelas a la dirección de las fuerzas aplicadas en todo momento durante el ensayo y la relación entre la distancia del punto de aplicación de la carga a la reacción más cercana y la altura de la viga no deberá ser menor que uno (1)

2.4 Si se usa un aparato similar al que se ilustra en la Figura 1 se tendrá en cuenta lo siguiente:

a) Los bloques de aplicación de carga y de apoyo no tendrán más de 64 mm (2.5") de altura, medida desde el centro o eje del pivote, y debe extenderse completamente a través o más allá del ancho completo del espécimen.

Cada superficie endurecida de carga en contacto con la muestra no debe separarse del plano en más de 0.05 mm (0.002") y debería ser una porción de un cilindro, el eje del cual deberá coincidir con el eje de la barra o el centro de la esfera en el cual el bloque se encuentre pivotado. El ángulo sustentado por la superficie curva de cada bloque debe ser de 45° (0.79 rad), como mínimo.

b) Los bloques de aplicación de carga y de apoyo deberán mantenerse en posición vertical y en contacto con la barra o esfera por medio de tornillos cargados con resortes, que los mantienen en contacto con la barra o esfera de pivotaje.

128

c) El plato de carga superior y la esfera del punto central en la Figura 1 pueden omitirse cuando se use un bloque apoyado sobre una rotula, ya que una barra y una esfera se usan como pivotes para los bloques superiores de aplicación de carga.

### 3. MUESTREO

3.1 Los especímenes de ensayo deben cumplir con los requerimientos de la norma MTC E702 "Elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio".

Las muestras deben tener una distancia libre entre apoyos de al menos tres veces su altura, con una tolerancia del 2%. Los lados de la muestra deben formar ángulos rectos con las caras superior e inferior. Todas las superficies en contacto con los bloques de aplicación de carga y de soporte deben ser suaves y libres de grietas, indentaciones, agujeros o inscripciones.

### 4. PROCEDIMIENTO

4.1 Gírese la muestra sobre un lado con respecto a su posición de moldeo y céntrese sobre los bloques de carga. Céntrese el sistema de carga en relación con la fuerza aplicada. Pónganse los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en los puntos tercios, entre los soportes. Si no se obtiene contacto completo sin carga entre el espécimen, los bloques de aplicación de carga y los soportes, de forma que se presente una separación de 0.1 mm (0.004") en una longitud de 25 mm (1") o más larga, púlense o enfréntense las superficies de contacto de la muestra, con láminas de cuero (capping).

4.2 Se recomienda minimizar el pulimento de las superficies laterales de la muestra, ya que esto puede variar las características físicas de esta y afectar los resultados del ensayo.

4.3 Úsense láminas de cuero sólo cuando la superficie de la muestra se separe del plano en más de 0.38 mm (0.015"). Las láminas de cuero deben tener un espesor uniforme de 6.4 mm (0.25") y un ancho de 25 a 50 mm (1 a 2"), y deben extenderse el ancho total de la muestra. La carga debe aplicarse rápidamente, hasta aproximadamente el 50% del valor esperado de rompimiento. A continuación, aplíquese la carga en forma continua a una rata que incremente constantemente el esfuerzo de la fibra extrema, entre 861 y 1207 kPa/min (125 a 175 lb/pulg<sup>2</sup>), cuando se calcule de acuerdo con el numeral 6.1, hasta que ocurra la rotura

129

## 5. MEDICIÓN DE LA MUESTRA DESPUÉS DEL ENSAYO

5.1 Tómense tres medidas de cada dimensión (una en cada borde y en el centro) con una precisión de 1.3 mm (0.05") para determinar el ancho promedio, la altura promedio y la localización de la línea de fractura del espécimen en la sección de falla.

## 6. CÁLCULOS

6.1 Si la fractura se inicia en la zona de tensión, dentro del tercio medio de la luz libre, calculase el módulo de rotura de la siguiente forma:

$$R = P_l / bd^2$$

donde:

$$R = \text{Modulo de rotura MPa (lb/pulg)}$$

P = Máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo N (lbf) L = Longitud libre entre apoyos mm (pulg).

b = Ancho promedio de la muestra mm (pulg). d = Altura promedio de la muestra, mm (pulg).

a) Si la fractura ocurre en la sección con "capping", incluya el espesor del recubrimiento en la altura de la muestra.

b) El peso de la viga no se incluye en los cálculos anteriores.

6.2 Si la fractura ocurre en la zona de tensión, fuera del tercio medio de la luz libre, en menos del 5% de la luz libre, calcúlese el módulo de rotura de la siguiente forma:

$$R = 3Pa /bd^2$$

Donde:

a Distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano, medido sobre la zona de tensión de la viga, mm (pulg).

6.3 Si la fractura ocurre en la zona de tensión y fuera del tercio medio de la luz libre, en más del 5% de la luz, libre, no tenga en cuenta los resultados del ensayo

130

## 7. INFORME Y RESULTADOS

7.1 El informe de los resultados debe incluir lo siguiente:

a) Número de identificación de la muestra.

b) Ancho promedio con una precisión de 1.3 mm (0.05").

c) Altura promedio con precisión de 1.3 mm (0.05").

d) Longitud de la luz, en mm (pulg).

e) Máxima carga aplicada en N (lb)

f) Módulo de rotura calculado con una precisión de 0.03 MPa (lb/pulg<sup>2</sup>).

g) Datos relativos al curado y condición de humedad aparente en el momento del ensayo.

- h) Datos relativos al pulimento, "capping" o uso de láminas de cuero.
- i) Defectos del espécimen.
- j) Edad del espécimen.

Anexo D. Norma ASTM C535 Resistencia a la abrasión por máquina de los ángeles



Designation: C535 – 16

## Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C535; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.*

### 1. Scope\*

1.1 This test method covers testing sizes of coarse aggregate larger than 19 mm ( $\frac{3}{4}$  in.) for resistance to degradation using the Los Angeles testing machine (Note 1).

NOTE 1—A procedure for testing coarse aggregate smaller than 37.5 mm ( $1\frac{1}{2}$  in.) is covered in Test Method C131/C131M.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The inch-pound values given in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*<sup>2</sup>

C125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates

C131/C131M Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine

C136/C136M Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

C670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

C702/C702M Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size

D75/D75M Practice for Sampling Aggregates

E11 Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.20 on Normal Weight Aggregates.

Current edition approved June 15, 2016. Published June 2016. Originally approved in 1964. Last previous edition approved in 2012 as C535 – 12. DOI: 10.1520/C0535-16.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

### 3. Terminology

3.1 For definitions of terms used in this test method, refer to Terminology C125.

### 4. Summary of Test Method

4.1 This test is a measure of degradation of mineral aggregates of standard gradings resulting from a combination of actions including abrasion or attrition, impact, and grinding in a rotating steel drum containing 12 steel spheres. As the drum rotates, a shelf plate picks up the sample and the steel spheres, carrying them around until they are dropped to the opposite side of the drum, creating an impact-crushing effect. The contents then roll within the drum with an abrading and grinding action until the shelf plate picks up the sample and the steel spheres, and the cycle is repeated. After the prescribed number of revolutions, the contents are removed from the drum and the aggregate portion is sieved to measure the degradation as percent loss.

### 5. Significance and Use

5.1 The test has been widely used as an indicator of the relative quality or competence of various sources of aggregate having similar mineral compositions. The results do not automatically permit valid comparisons to be made between sources distinctly different in origin, composition, or structure. Assign specification limits with extreme care in consideration of available aggregate types and their performance history in specific end uses.

### 6. Apparatus

6.1 *The Los Angeles Machine* shall conform to the requirements of Test Method C131/C131M.

6.1.1 The operation and maintenance of the machine shall be as prescribed in Test Method C131/C131M.

6.2 *Sieves*, conforming to Specification E11.

6.3 *Balance*—A balance or scale accurate within 0.1 % of test load over the range required for this test

6.4 *Charge*—The charge (Note 2) shall consist of 12 steel spheres averaging approximately 47 mm ( $1\frac{27}{32}$  in.) in

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

**TABLE 1 Gradings of Test Samples**

Sieve Size, mm (in.) (Square Openings)		Mass of Indicated Sizes, g		
Passing	Retained on	Grading		
		1	2	3
75 (3)	63 (2½)	2 500 ± 50	...	...
63 (2½)	50 (2)	2 500 ± 50	...	...
50 (2)	37.5 (1½)	5 000 ± 50	5 000 ± 50	...
37.5 (1½)	25.0 (1)	...	5 000 ± 25	5 000 ± 25
25.0 (1)	19.0 (¾)	...	...	5 000 ± 25
	Total	10 000 ± 100	10 000 ± 75	10 000 ± 50

diameter, each having a mass between 390 and 445 g, and having a total mass of 5000 ± 25 g.

NOTE 2—Steel ball bearings 46.0 mm (1½ in.) and 47.6 mm (1¾ in.) in diameter, having a mass approximately 400 and 440 g each, respectively, are readily available. Steel spheres 46.8 mm (1¾ in.) in diameter having a mass approximately 420 g may also be obtainable. The charge may consist of a mixture of these sizes conforming to the total mass tolerance of 6.4.

## 7. Sampling

7.1 Obtain the field sample in accordance with Practice D75/D75M and reduce to an adequate sample size in accordance with Practice C702/C702M.

## 8. Test Sample Preparation

8.1 Wash the reduced sample and oven dry at 110 ± 5°C (230 ± 9°F) to substantially constant mass, separate into individual size fractions, and recombine to the grading of Table 1 most nearly corresponding to the range of sizes in the aggregate as furnished for the work. Record the mass of the sample prior to test to the nearest 1 g.

## 9. Procedure

9.1 Place the test sample and charge in the Los Angeles testing machine and rotate the machine at 30 to 33 r/min for 1000 revolutions (Note 3). After the prescribed number of revolutions, discharge the material from the machine and make a preliminary separation of the sample on a sieve coarser than the 1.70-mm (No. 12) sieve. Sieve the finer portion on a 1.70-mm sieve in a manner conforming to Test Method C136/C136M. Wash the material coarser than the 1.70-mm sieve and oven dry at 110 ± 5°C (230 ± 9°F) to substantially constant mass, and determine the mass to the nearest 1 g.

9.1.1 If the aggregate is essentially free of adherent coatings and dust, the requirement for washing after the test is optional. However, in the case of referee testing, the washing procedure shall be performed. Elimination of washing after test will seldom reduce the measured loss by more than about 0.2 % of the original sample mass.

NOTE 3—Valuable information concerning the uniformity of the sample under test may be obtained by determining the loss after 200 revolutions. This loss should be determined by dry sieving the material on the 1.70-mm (No. 12) sieve without washing. The ratio of the loss after 200 revolutions to the loss after 1000 revolutions should not greatly exceed 0.20 for material of uniform hardness. When this determination is made, take care to avoid losing any part of the sample; return the entire sample, including the dust of fracture, to the testing machine for the final 800 revolutions required to complete the test.

## 10. Calculation

10.1 Calculate the loss (the difference between the original mass and the final mass of the test sample) as a percentage of the original mass of the test sample (Note 4).

NOTE 4—The percent loss determined by this method has no known consistent relationship to the percent loss for the same material when tested by Test Method C131/C131M.

## 11. Report

11.1 Report the following information:

11.2 Identification of the aggregate as to source, type, and nominal size, and

11.3 Grading designation from Table 1 used for the test, and

11.4 Loss by abrasion and impact of the sample expressed to the nearest 1 % by mass.

## 12. Precision and Bias

12.1 Precision:

12.1.1 *Single Operator Precision*—The single-operator coefficient of variation has been found to be 3.7 %. Therefore, results of two properly conducted tests by the same operator on the same material are not expected to differ by more than 10.4 % of their average.

12.1.2 *Multilaboratory Precision*—The multilaboratory coefficient of variation has been found to be 6.4 %. Therefore, results of two different laboratories on identical samples of the same material are not expected to differ from each other by more than 18.1 % of their average.

NOTE 5—These precision values were obtained in two interlaboratory studies, one that included 10 laboratories testing limestone samples and one that included 11 laboratories testing granite samples. Each participating laboratory was given an aggregate sample conforming to Grading 1 and another sample conforming to Grading 2. All resulting coefficients were combined and averaged. The details are given in RR-C09-1046.<sup>3</sup>

12.2 Bias:

12.2.1 Because there is no accepted reference material suitable for determining the bias in this test method, no statement on bias is made.

## 13. Keywords

13.1 abrasion; aggregate (coarse; large size); degradation; impact; Los Angeles machine

<sup>3</sup> Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR-C09-1046. Contact ASTM Customer Service at service@astm.org.





**ET ERNA, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO**

Agregado : Arena para Concreto      Ubicación : Trituradora      LAB-FOR-006  
 Ver. 2  
 Fecha : 3/11/2018      Hora : 8:00:00 a.m.

DETERMINACION DE MATERIAL MAS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)			
Peso muestra seca sin lavar (grs)	Peso muestra seca lavada (grs)	Pérdida por lavado (grs)	Material más fino que Tamiz # 200 (%)
1105.4	1095.0	10.4	0.9

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
Tamiz	Peso Retenido Individual (grs)	Material Retenido (%)	% retenido acumulado	% Pase	Parámetro	
2						
1½						
1						
¾						
½						
3/8	0.0	0.00	0.00	100	100	100
# 4	2.1	0.19	0.19	99.81	90	100
# 8	178.6	16.31	16.50	83.50	80	100
# 16	255.0	23.29	39.79	60.21	50	85
# 30	212.9	19.44	59.23	40.77	25	60
# 50	205.2	18.74	77.97	22.03	5	30
# 100	184.2	16.82	94.79	5.21	0	10
Fondo	57.0	5.21	100.00	0.00		
Totales =	1095.0	MF =	2.88			

RESULTADOS DE COLORIMETRÍA (ASTM C-40)						
Color 1	/	Color 2	Color 3	Color 4	Color 5	

Observaciones : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**ET ER N A, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO**

Agregado :           Ø 1 1/2                Ubicación :           Trituradora                LAB-FOR-006  
 Ver. 2  
 Fecha :           6/11/2018                Hora :           9:00 a. m.          

DETERMINACION DE MATERIAL MAS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)			
Peso muestra seca sin lavar (grs)	Peso muestra seca lavada (grs)	Pérdida por lavado (grs)	Material más fino que Tamiz # 200 (%)
2707.1	2697.7	9.4	0.35

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
Tamiz	Peso Retenido Individual (grs)	Material Retenido (%)	% retenido acumulado	% Pase	Parámetro	
2	0.0	0.00	0.00	100.00	100	A 100
1½	0.0	0.00	0.00	100.00	90	A 100
1	1546.1	57.32	57.32	42.68	20	A 55
¾	922.4	34.20	91.52	8.48	0	A 15
½	207.7	7.70	99.22	0.78		
3/8	2.6	0.10	99.32	0.68	0	A 5
# 4	2.1	0.08	99.40	0.60		
# 8	0.5	0.02	99.41	0.59		
# 16	1.7	0.06	99.48	0.52		
# 30	2.0	0.07	99.55	0.45		
# 50	3.2	0.12	99.67	0.33		
# 100	4.2	0.16	99.83	0.17		
Fondo	4.7	0.17	100.00	0.00		
Totales =	2697.2	MF =	6.97			

RESULTADOS DE COLORIMETRIA (ASTM C-40)							
Color 1	x	Color 2		Color 3		Color 4	Color 5

Observaciones : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**ETERN A, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO**

Agregado :           ø3/4                Ubicación :           trituradora                LAB-FOR-006  
 Fecha :           31/10/2018                Hora :           1:00 p. m.                Ver. 2

DETERMINACION DE MATERIAL MAS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)			
Peso muestra seca sin lavar (grs)	Peso muestra seca lavada (grs)	Pérdida por lavado (grs)	Material más fino que Tamiz # 200 (%)
2,588.9	2,567.4	21.5	0.83

ANALISIS GRANULOMETRICO							
Tamiz	Peso Retenido		Material Retenido (%)	% retenido acumulado	% Pase	Parámetro	
	Individual	(grs)					
2							
1½							
1	0.0		0	0	100	100	- 100
¾	261.5		10.19	10.19	89.81	90	- 100
½	1149.9		44.79	54.97	45.03		
¼	599.7		23.36	78.33	21.67	20	- 55
# 4	518.1		20.18	98.51	1.49	0	- 10
# 8	7.8		0.30	98.82	1.18	0	- 5
# 16	4.6		0.18	99.00	1.00		
# 30	5.8		0.23	99.22	0.78		
# 50	7.3		0.28	99.51	0.49		
# 100	7.6		0.30	99.80	0.20		
Fondo	5.1		0.20	100.00	0.00		
Totales =	2567.4		MF =	6.83			

RESULTADOS DE COLORIMETRIA (ASTM C-40)						
Color 1	Color 2	Color 3	Color 4	Color 5		

Observaciones : \_\_\_\_\_



**ET ERNA, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO**

Agregado: Ø 1 1/2 (467) Ubicación: Trituradora LAB-FOR-006  
 Ver. 2  
 Fecha: 4/12/2018 Hora: 2:00 PM

DETERMINACION DE MATERIAL MAS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)			
Peso muestra seca sin lavar (grs)	Peso muestra seca lavada (grs)	Pérdida por lavado (grs)	Material más fino que Tamiz #200 (%)
5585.7	5485.3	100.4	1.80

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
Tamiz	Peso Retenido Individual (grs)	Material Retenido (%)	% retenido acumulado	% Pase	Parámetro	
2	0.0	0.00	0.00	100.00	100	A 100
1½	0.0	0.00	0.00	100.00	90	A 100
1	551.6	10.06	10.06	89.94	-	A -
¾	580.5	10.58	20.64	79.36	35	A 80
½	1494.9	27.25	47.89	52.11		
3/8	993.3	18.11	66.00	34.00	10	A 35
# 4	1717.4	31.31	97.31	2.69	0	5
# 8	67.2	1.23	98.53	1.47		
# 16	39.6	0.72	99.26	0.74		
# 30	18.6	0.34	99.60	0.40		
# 50	8.6	0.16	99.75	0.25		
# 100	6.0	0.11	99.86	0.14		
Fondo	7.6	0.14	100.00	0.00		
Totales =	5485.3	MF =	6.60			

RESULTADOS DE COLORIMETRÍA (ASTM C-40)				
Color 1	Color 2	Color 3	Color 4	Color 5

Observaciones : .....



**E T E R N A, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO**

Agregado :  $\phi$  1 1/2 (467 RCD)      Ubicación : Trituradora      LAB-FOR-006  
 Ver. 2  
 Fecha : 4/12/2018      Hora : 9:00 AM

DETERMINACION DE MATERIAL MAS FINO QUE TAMIZ # 200 (POR LAVADO)			
Peso muestra seca sin lavar (grs)	Peso muestra seca lavada (grs)	Pérdida por lavado (grs)	Material más fino que Tamiz # 200 (%)
4487.6	4487.3	0.3	0.01

ANALISIS GRANULOMETRICO							
Tamiz	Peso Retenido		Material Retenido (%)	% retenido acumulado	% Pase	Parámetro	
	Individual	(grs)					
2	0.0		0.00	0.00	100.00	100	A 100
1 1/2	0.0		0.00	0.00	100.00	90	A 100
1	632.0		14.11	14.11	85.89		
3/4	643.3		14.36	28.48	71.52	35	A 80
1/2	1196.9		26.70	55.18	44.82		
3/8	704.1		15.72	70.90	29.10	10	A 30
#4	1161.1		25.93	96.83	3.17	0	A 5
#8	68.8		1.54	98.37	1.63		
#16	39.4		0.88	99.25	0.75		
#30	16.2		0.36	99.61	0.39		
#50	7.5		0.17	99.78	0.22		
#100	4.9		0.11	99.89	0.11		
Fondo	5.1		0.11	100.00	0.00		
Totales =	4478.3		MF =	6.65			

RESULTADOS DE COLORIMETRIA (ASTM C-40)				
Color 1	Color 2	Color 3	Color 4	Color 5

Observaciones : Material combinado



**Peso Volumétrico de Agregados**

LAB-FOR-009  
 Ver. 3

Procedencia de muestra trituradora Fecha 6-nov-18  
 Uso Propuesto del material concreto Tamaño del agregado 1 ½"

Peso Volumétrico Suelto  Peso Volumétrico Compactado   
 Material Húmedo  Material seco

Ensayo Peso Volumétrico			
No	Descripción	Datos	Unidad
1	Peso del Recipiente vacío	13.8	lbs
2	Peso del Recipiente + la muestra	64.75	lbs
3	Peso Neto de la muestra, W	50.95	lbs
4	Volumen del Recipiente, Vr	0.5	ft³
5	Peso Volumétrico del material, Pu	101.9	lb / ft³
6	Peso Volumétrico del material, Pu	1,632.08	kgs/ m³
7	Peso Volumétrico del material, Pu	3,598.08	lbs/ m³
8	Gravedad específica de material, Gs	2.76	
9	Porcentaje de vacíos, Vo	24.9	%

Nota. El porcentaje de vacíos se calcula con la fórmula:  
 $Vo = (62.3 Gs - Pu) / (Gs * Pu) * 100$ , donde Gs es el peso específico del material

OBSERVACIONES

---



---



---



---



---



**Peso Volumétrico de Agregados**

LAB-FOR-009  
Ver. 3

Procedencia de muestra trituradora Fecha 6-nov-18  
 Uso Propuesto del material concreto Tamaño del agregado 1 ½"  
 Peso Volumétrico Suelto  Peso Volumétrico Compactado   
 Material Húmedo  Material seco

Ensayo Peso Volumétrico			
No	Descripción	Datos	Unidad
1	Peso del Recipiente vacío	13.8	lbs
2	Peso del Recipiente + la muestra	60.45	lbs
3	Peso Neto de la muestra, W	46.65	lbs
4	Volumen del Recipiente, Vr	0.5	ft³
5	Peso Volumétrico del material, Pu	93.3	lb / ft³
6	Peso Volumétrico del material, Pu	1,494.34	kgs/ m³
7	Peso Volumétrico del material, Pu	3,294.42	lbs/ m³
8	Gravedad específica de material, Gs	2.76	
9	Porcentaje de vacíos, Vo	30.5	%

Nota. El porcentaje de vacíos se calcula con la fórmula:  
 $Vo = (82.3 Gs - Pu) / (Gs * Pu) * 100$ , donde Gs es el peso específico del material

OBSERVACIONES

---



---



---



---



---





**ET ERNA, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**Peso Específico y Absorción de Agregados Finos**

LAB-FOR-007  
Version 2

Procedencia de la Muestra : Trituradora Fecha : 7-nov.-18  
 Uso Propuesto del Material : Concreto Agregado : Arena fina

Nº	DESCRIPCION	CALCULO	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	Promedio
1	Peso del picnometro en el aire		grs	152.2	154.3	
2	Peso picnometro + agua hasta la tara		grs	651.5	653.5	
3	Peso de volumen de agua hasta la tara del picnometro	2 - 1	grs	499.3	499.2	
4	Peso frasco + muestra saturada con superficie seca	1 + 5	grs	652.2	654.3	
5	Peso muestra saturada con superficie seca, Wm		grs	500.0	500.0	
6	Peso picnometro + muestra SSS + Agua aumentada		grs	960.7	963.0	
7	Wa; peso agua aumentada	6 - 4	grs	308.5	308.7	
8	Wo; peso muestra secada a peso constante		grs	488.5	488.6	
9	Peso de un volumen de agua igual a la muestra SSS	3 - 7		190.8	190.5	
10	Peso específico condición seca	8 / 9		2.6	2.6	
11	Peso de agua en la muestra condición SSS	5 - 8	grs	11.5	11.4	
12	Peso de un volumen de agua igual a la muestra secada	9 - 11	grs	179.3	179.1	
13	Peso específico condición saturado con superficie seca	5 / 9		2.621	2.625	2.623
14	Peso específico aparente	8 / 12		2.7	2.7	
15	% absorcion	$(11/8)*100$	%	2.354	2.333	2.344
Peso Especifico G <sub>sss</sub> promedio :						2.623
% de Absorcion Promedio :						2.344
<b>Observaciones:</b>						

Anexo M. Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso #4 combinado con #6





**ET ER N A, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos**

LAB-FOR-008  
 Version 2

Procedencia de la Muestra : Trituradora  
 Uso Propuesto del Material : Concreto

Fecha : 7-NOV.-18  
 Agregado : Grava 1 1/2" c / 3/4"

Nº	DESCRIPCION	CALCULO	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	Promedio
1	Peso de Recipiente		grs	1019	1019	
2	Peso de Recipiente + Muestra Saturada con Superficie Seca en Aire	1 + 3	grs	4468	4609	
3	Peso Material en condicion Saturada Superficie Seca en aire, $W_{sas}$		grs	3449	3590	
4	Peso de Recipiente suspendido en agua		grs	886	886	
5	Peso de recipiente y material suspendido en agua en condicion Saturada Superficie Seca		grs	3064	3144	
6	Peso de material saturado suspendido en agua, $W_{ma}$	5 - 4	grs	2178	2258	
7	Peso de Recipiente + Material seco a peso constante	8 + 1	grs	4426	4560	
8	Peso de Material seco a peso constante, $W_o$		grs	3407	3541	
9	Peso Especifico (densidad relativa) de material seco, $G_s$	$8 / (3 - 6)$		2.681	2.658	
10	Peso Especifico (densidad relativa) de material saturado superficie seca, $G_{sas}$	$3 / (3 - 6)$		2.714	2.695	2.704
11	Peso especifico ( densidad relativa ) aparente de material, $G_{ap}$	$8 / (8 - 6)$		2.772	2.760	
12	Absorcion de material, $A_{s}$	$(3 - 8) / 8 * 100$	%	1.233	1.384	1.308
				<b>Peso Especifico <math>G_{sas}</math> promedio :</b>		<b>2.704</b>
				<b>% de Absorcion Promedio :</b>		<b>1.308</b>
<b>Observaciones:</b>						



**E T E R N A, S. A. de C.V.**  
INGENIEROS CONTRATISTAS  
DIVISIÓN CONETSA

**RESUMEN de Resultados de Peso Volumétrico de Agregados**

Procedencia de muestra Trituradora (Material Reciclado) Fecha 21-nov-18  
Uso Propuesto del material Producción de Concreto Tamaño del agregado Grava 1 1/2" Ø

Ensayo Peso Unitario (Volumétrico)				
No	Descripción	pcf	kgs/ m <sup>3</sup>	lbs/ m <sup>3</sup>
1	Peso unitario Húmedo - Suelto	73.5	1,177.21	2,595.28
2	Peso unitario Húmedo - Compactado	84.7	1,356.60	2,990.76
3	Peso unitario Seco - Suelto	71.9	1,151.59	2,538.80
4	Peso unitario Seco - Compactado	81.7	1,308.55	2,884.83
% de vacíos				
5	% de vacíos Húmedo - Suelto		47.48	
6	% de vacíos Húmedo - Compactado		36.27	
7	% de vacíos Seco - Suelto		49.36	
8	% de vacíos Seco - Compactado		38.97	

Nota. El porcentaje de vacíos se calcula con la fórmula:  
$$V_o = (62.3 G_s - P_u) / (G_s * P_u) * 100$$
 donde  $G_s$  es el peso específico del material

OBSERVACIONES



**E T E R N A, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos**

LAB-FOR-008  
Version 2

Procedencia de la Muestra : Trituradora (Material Reciclado)  
 Uso Propuesto del Material : Concreto

Fecha : 21-nov.-18  
 Agregado : Grava 1 1/2"

Nº	DESCRIPCION	CALCULO	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	Promedio
1	Peso de Recipiente		grs	1017	1017	
2	Peso de Recipiente + Muestra Saturada con Superficie Seca en Aire	1 + 3	grs	4017	4019	
3	Peso Material en condicion Saturada Superficie Seca en aire, W <sub>ss</sub>		grs	3000	3002	
4	Peso de Recipiente suspendido en agua		grs	886	886	
5	Peso de recipiente y material suspendido en agua en condicion Saturada Superficie Seca		grs	2611	2619	
6	Peso de material saturado suspendido en agua, W <sub>ma</sub>	5 - 4	grs	1725	1733	
7	Peso de Recipiente + Material seco a peso constante	8 + 1	grs	3792	3784	
8	Peso de Material seco a peso constante, W <sub>e</sub>		grs	2775	2767	
9	Peso Especifico (densidad relativa) de material seco, G <sub>s</sub>	8 / (3 - 6)		2.176	2.180	
10	Peso Especifico (densidad relativa) de material saturado superficie seca, G <sub>ss</sub>	3 / (3 - 6)		2.353	2.366	2.359
11	Peso especifico ( densidad relativa ) aparente de material , G <sub>ap</sub>	8 / (8 - 6)		2.643	2.676	
12	Absorcion de material , A <sub>s</sub>	(3 - 8) / 8 * 100	%	8.108	8.493	8.301
				<b>Peso Especifico G<sub>ss</sub> promedio :</b>		<b>2.359</b>
				<b>% de Absorcion Promedio :</b>		<b>8.301</b>
<b>Observaciones:</b>						

Anexo P. Peso Específico y Absorción De Agregado Grueso 467 Reciclado



## GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO AASHTO T 85 / ASTM C 127

Mostrador No.: \_\_\_\_\_  
Proyecto: \_\_\_\_\_ Muestra de: \_\_\_\_\_  
Tamaño Muestra: \_\_\_\_\_ Fuente: \_\_\_\_\_  
Ensayo por: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

### Preparación de la muestra

#### Temperatura de secado

Lectura : °C ( )

#### Tiempo de enfriado de la muestra

Hora inicial: \_\_\_\_\_ ▶ Tiempo de enfriado: \_\_\_\_\_ hh : mm

Hora Final: \_\_\_\_\_

#### Tiempo de empapado de la muestra

Hora inicial: \_\_\_\_\_ ▶ Tiempo de empapado: \_\_\_\_\_ hh : mm

Hora Final: \_\_\_\_\_

### Mediciones preliminares y Determinación de masas

Descripción de Dato	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
▶ Peso de cesta al aire	1019.0 g	1019.0 g	1019.0 g
▶ Peso de cesta en el agua	886.0 g	886.0 g	886.0 g
▶ Peso de cesta + muestra c/ Superficie Seca Saturada	4093.0 g	4022.0 g	4026.0 g
▶ Peso de cesta + muestra sumergida en agua	2782.0 g	2744.0 g	2745.0 g
▶ Peso de cesta + muestra seca al horno	3999.0 g	3936.0 g	3936.0 g
A. Peso muestra seca al horno	2980.0 g	2917.0 g	2917.0 g
B. Peso muestra c/ Superficie Seca Saturada	3074.0 g	3003.0 g	3007.0 g
C. Peso muestra en el agua	1896.0 g	1858.0 g	1859.0 g

### Determinación de Gravedades Específicas

Muestra	GE (bulk)	GE (SSS)	GE Ap.	Absorción
1	2.53	2.61	2.75	3.2%
2	2.55	2.62	2.75	2.9%
3	2.54	2.62	2.76	3.1%
Promedio	2.54	2.62	2.75	3.1%

#### Trazabilidad de Equipo

Equipo	ID
• Balanza	EL - 08
• Termómetro	

Observaciones:



**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN  
DEL AGREGADO GRUESO**  
AASHTO T 85 / ASTM C 127

Diseño No.: \_\_\_\_\_  
 Proyecto: ADECUACION DE PAV. PATIO T SUR  
 Tamaño Muestra: 100 LBS  
 Muestreo por: PERS. LABORATORIO  
 Muestra de: GRAVA 1 1/2  
 Fuente: RIO CHAMELECON  
 Ensayo por: PERS. LABORATORIO Fecha: \_\_\_\_\_

**Preparación de la muestra**

• **Temperatura de secado**

Lectura : 105.0 °C ( 221.0 °F )

• **Tiempo de enfriado de la muestra**

Hora inicial: 1:30 PM  
 Hora Final: 2:50 PM

▶ Tiempo de enfriado: 1:20 hh : mm

• **Tiempo de empapado de la muestra**

Hora inicial: 18-10-18 2:50 PM  
 Hora Final: 19-10-18 2:20 PM

▶ Tiempo de empapado: 23:30 hh : mm

**Datos preliminares y Determinación de masas**

Descripción de Dato	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
▶ Peso de cesta al aire	: 1019.0 g	1019.0 g	1019.0 g
▶ Peso de cesta en el agua	: 886.0 g	886.0 g	886.0 g
▶ Peso de cesta + muestra c/ Superficie Seca Saturada	: 4360.0 g	4123.0 g	4161.0 g
▶ Peso de cesta + muestra sumergida en agua	: 2961.0 g	2830.0 g	2851.0 g
▶ Peso de cesta + muestra seca al horno	: 4297.0 g	4075.0 g	4112.0 g
A. Peso muestra seca al horno	: 3278.0 g	3056.0 g	3093.0 g
B. Peso muestra c/ Superficie Seca Saturada	: 3341.0 g	3104.0 g	3142.0 g
C. Peso muestra en el agua	: 2075.0 g	1944.0 g	1965.0 g

**Determinación de Gravedades Específicas**

Muestra	GE (bulk)	GE (SSS)	GE Ap.	Absorción
1	2.59	2.64	2.72	1.9%
2	2.63	2.68	2.75	1.6%
3	2.63	2.67	2.74	1.6%
Promedio	2.62	2.66	2.74	1.7%

**Trazabilidad de Equipo**

Equipo	ID
• Balanza	EL - 08
• Termómetro	

• **Observaciones:**





**ET ERNA, S. A. de C.V.**  
**INGENIEROS CONTRATISTAS**  
**DIVISIÓN CONETSA**

**Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos**

LAB-FOR-008  
 Version 2

Procedencia de la Muestra : Trituradora Fecha : 4-sep.-18  
 Uso Propuesto del Material : Concreto y Bloques Agregado : Grava 3/4"

Nº	DESCRIPCION	CALCULO	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	Promedio
1	Peso de Recipiente		grs	1015	1015	
2	Peso de Recipiente + Muestra Saturada con Superficie Seca en Aire	1 + 3	grs	4015	4015	
3	Peso Material en condicion Saturada Superficie Seca en aire, W <sub>ss</sub>		grs	3000	3000	
4	Peso de Recipiente suspendido en agua		grs	885	885	
5	Peso de recipiente y material suspendido en agua en condicion Saturada Superficie Seca		grs	2776	2766	
6	Peso de material saturado suspendido en agua, W <sub>ma</sub>	5 - 4	grs	1891	1881	
7	Peso de Recipiente + Material seco a peso constante	8 + 1	grs	3975	3968	
8	Peso de Material seco a peso constante, W <sub>e</sub>		grs	2960	2953	
9	Peso Especifico (densidad relativa) de material seco, G <sub>s</sub>	8 / (3 - 6)		2.669	2.639	
10	Peso Especifico (densidad relativa) de material saturado superficie seca, G <sub>ss</sub>	3 / (3 - 6)		2.705	2.681	2.693
11	Peso especifico ( densidad relativa ) aparente de material, G <sub>ap</sub>	8 / (8 - 6)		2.769	2.755	
12	Absorción de material, Abs	$(3 - 8) / 8 * 100$	%	1.351	1.592	1.471
				<b>Peso Especifico G<sub>ss</sub> promedio :</b>		<b>2.693</b>
				<b>% de Absorción Promedio :</b>		<b>1.471</b>
<b>Observaciones:</b>						

JUAN CARLOS CARRANZA

Ensayado por

Revisado y aprobado por

