



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**Ingeniería
Ambiental y Sanitaria**



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL
CONCRETO CON REEMPLAZO DE AGREGADO GRUESO POR RESIDUOS DE
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**

AUTORES

ENGER ALBERTO BOTELLO GUTIÉRREZ

EDIER CARVAJAL ROJAS

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR, CESAR

2021

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL
CONCRETO CON REEMPLAZO DE AGREGADO GRUESO POR RESIDUOS DE
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**

AUTORES

ENGER ALBERTO BOTELLO GUTIÉRREZ

EDIER CARVAJAL ROJAS

Director:

EBERTO ORTEGA SINNING

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR, CESAR

2021

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada:

A Dios, quien ha sido fiel conmigo y ha estado a mi lado en todo momento.

A mis padres Enger Botello Botello y Rosmira Gutiérrez Uribe, quienes con mucho esfuerzo, amor y oración me ayudaron en cada instante de mi vida.

A mis hermanos Kevin Caleb Botello Gutiérrez y Keyner Camilo Botello Gutiérrez, por que estuvieron siempre dispuestos a ayudarme cuando los necesitaba.

ENGER ALBERTO BOTELLO GUTIERREZ

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por darme vida y permitirme culminar con éxito este logro en mi formación profesional.

A mis padres Rodrigo Carvajal y Ana Eneth Rojas, por su apoyo incondicional, amor, trabajo y esfuerzo todos estos años. Porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona.

A mi novia Valentina Orozco por estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento.

A mis hermanas Yerlis Y Kelis a quienes amo infinitamente.

EDIER CARVAJAL ROJAS

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento va dirigido primeramente a Dios, por sostenerme en cada uno de mis pasos, por guiarme siempre por el mejor camino y llenarme de bendiciones, a mi familia

De igual manera agradezco a la Universidad Popular del Cesar, quien me brindó docentes que con sus enseñanzas me forjaron como profesional.

Agradezco al Ingeniero Eberto Ortega Sinning, por brindarme sus conocimientos y ayudarme en su función de director en este proyecto.

Finalmente agradezco a todos mis hermanos en la Fe, de la Iglesia Pentecostal Unida de Colombia, por regalarme siempre sus oraciones y ayudarme en todo este proceso, como también a todas las personas que de una u otra manera me brindaron su apoyo. A todos, muchas gracias.

ENGER ALBERTO BOTELLO GUTIERREZ

Quiero expresar mi eterna gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida, a mi novia y a toda mi familia por su apoyo y amor profundo.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Popular del Cesar (UPC), a mis profesores, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional.

Agradezco a mi asesor Eberto Ortega Sinning, gracias por su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración en el desarrollo de este proyecto.

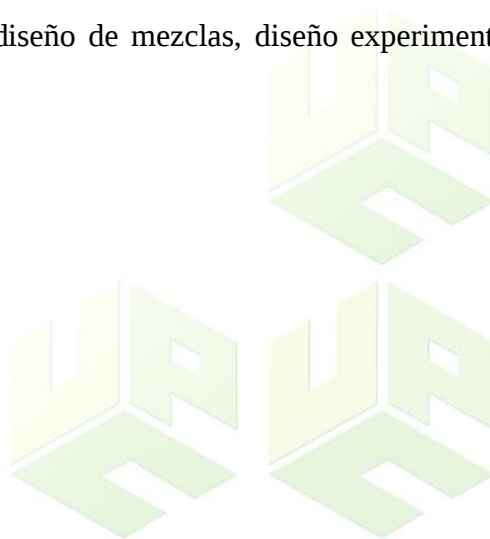
Finalmente agradezco a todas las personas que directa o indirectamente hicieron parte del cumplimiento de esta meta. A todos ustedes, muchas gracias.

EDIER CARVAJAL ROJAS

RESUMEN – ABSTRACT

Se evaluó los módulos de elasticidad de especímenes de concreto con reemplazo de agregado grueso por porcentajes de residuos de demolición y construcción del 5%, 10%, 15% y 20%. Se recolectaron 50 kg de estos residuos en las orillas de la cuenca baja del río Guatapurí de la ciudad de Valledupar; seguidamente se realizaron los respectivos ensayos de los agregados finos y gruesos bajo la norma NTC en el laboratorio de suelos V&O ingenierías S.A.S., en total se elaboraron 30 cilindros (30 cm de altura, 15 cm de diámetro) con un tiempo de curado de 28 días con resistencia de diseño de 3000 PSI; estos fueron sometidos a ensayos para determinar la resistencia a compresión y los módulos de elasticidad. Los resultados evidenciaron una relación directa entre los módulos de elasticidad y la resistencia a compresión del concreto de manera proporcional con una correlación lineal de Pearson positiva de 0,71 para el módulo estático y 0,57 dinámico. Además, se realizó un diseño experimental por medio del software IBM SPSS Statistic versión 28.0 estableciendo que, la mezcla de concreto con 5% de agregados de residuos de demolición y construcción muestran un mejor comportamiento al 95% de confianza, indicando que el material posee una mayor rigidez, siendo su grado de deformación bajo y que los factores de calidad de agregados, relación agua/cemento y curado influyen en el concreto. El diseño de mezcla representativo puede ser usado en el ámbito ingenieril para andenes, topellantas, bloques y útil para ser concreto aislante, de relleno y para solados.

Palabras claves: módulo de elasticidad, especímenes de concreto, residuos de construcción y demolición, resistencia a compresión, diseño de mezclas, diseño experimental, norma técnica colombiana.



ABSTRACT

The modulus of elasticity of concrete specimens with coarse aggregate replacement was evaluated by percentages of demolition and construction waste of 5%, 10%, 15% and 20%. 50 kg of these wastes were collected on the banks of the lower basin of the Guatapurí river in the city of Valledupar; then the respective tests of the fine and coarse aggregates were carried out under the NTC standard in the soil laboratory V&O Ingenierías SAS, a total of 30 cylinders (30 cm high, 15 cm in diameter) were made with a curing time of 28 days with resistance 3000 PSI design; These were subjected to tests to determine the compressive strength and the modulus of elasticity. The results showed a direct relationship between the modulus of elasticity and the compressive strength of the concrete in a proportional way with a positive linear Pearson correlation of 0.71 for the static and 0.57 dynamic modulus. In addition, an experimental design was carried out using the IBM SPSS Statistic version 28.0 software. establishing that, the concrete mixture with 5% of aggregates of demolition and construction waste shows a better behavior at 95% confidence, indicating that the material has greater rigidity, its degree of deformation being low and that the quality factors of Aggregates, water / cement ratio, and cure all influence concrete. The representative mix design can be used in the engineering field for docks, walkways, blocks and useful for insulating, infill and screed concrete.

Keywords: modulus of elasticity, concrete specimens, construction and demolition waste, compression resistance, mixture design, experimental design, Colombian technical standard.



TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Introducción	1
1. Título del proyecto de investigación.....	2
2. Planteamiento y formulación del Problema	3
2.1. Descripción Del Problema	3
2.2. Formulación Del Problema	4
3. Justificación Del Problema	5
4. Objetivos	6
5. Marco Referencial.....	7
5.1. Antecedentes Investigativos.....	7
5.2. Marco Teórico.....	10
5.2.1. <i>Residuos de construcción y demolición</i>	10
5.2.2. <i>Agregados</i>	11
5.2.3. <i>Propiedades del concreto</i>	13
5.2.4. <i>Módulo de elasticidad</i>	13
5.2.5. <i>Factores que afectan el módulo de elasticidad del concreto</i>	14
5.3. Marco Conceptual.....	15
5.4. Marco Contextual.....	16
5.4.1. Área De Estudio	18
5.5. Marco Legal	18
6. Marco Metodológico.....	20
6.1. Línea Y Sublínea De Investigación	20
6.2. Tipo De Investigación.....	20
6.3. Nivel De Investigación	20

6.4.	Población De Estudio.....	20
6.5.	Muestra Poblacional.....	21
6.6.	Desarrollo Metodológico	21
6.6.1.	<i>Etapa 1: Diseño de mezcla de concreto</i>	21
6.6.2.	<i>Etapa 2: Determinación del módulo elasticidad</i>	31
6.6.3.	<i>Etapa 3: Aplicaciones del concreto con los diferentes materiales reciclados</i>	33
6.7.	Diseño Experimental.....	33
7.	Resultados Y Análisis	36
7.1.	Etapa 1: Diseño De Mezclas De Concreto Para Distintas Proporciones 0%, 5%, 10%, 15% Y 20% De Residuos De Construcción Y Demolición.....	36
7.1.1.	<i>Actividad 1. Selección de materia prima</i>	36
7.1.2.	<i>Actividad 2. Tratamiento de los residuos de construcción y demolición... 37</i>	37
7.1.3.	<i>Actividad 3. Diseño de mezclas del concreto en los porcentajes respectivos.</i>	38
7.2.	Etapa 2: Determinación De Módulos De Elasticidad De Los Espécimen De Concreto	78
7.2.1.	<i>Actividad 1. Cálculo del Módulo de elasticidad estático.....</i>	78
7.2.1.1.	<i>Resistencia a la compresión de los cilindros de concreto con 0% 5% 10% 15% y 20% de RCD.</i>	80
7.2.2.	<i>Actividad 2. Cálculo del Módulo de elasticidad dinámico</i>	87
7.3.	Diseño Experimental De Los Módulos De Elasticidad Del Concreto Con Proporciones De RCD.....	93
7.3.1.	<i>Diseño experimental del módulo de elasticidad estático</i>	94
7.3.2.	<i>Diseño experimental del módulo de elasticidad dinámico.....</i>	99
7.4.	Etapa 3: Aplicaciones Del Concreto Con Los Diferentes Materiales Reciclados.	105

7.4.1. En concreto de alta resistencia ($> 30 \text{ Mpa}$ o 300 kg/cm^2).....	105
7.4.2. En concretos de baja resistencia ($< 17,5 \text{ Mpa}$ o 175 kg/cm^2),	106
7.4.3. En concretos de resistencia intermedia ($17,5 \text{ Mpa}$ a 30 Mpa o 175 a 300 kg/cm^2),	106
7.4.4. Agregado con 5% de RCD	106
7.4.5. Agregado con 10% de RCD	107
7.4.6. Agregado de 15% de RCD	107
7.4.7. Agregado con 20% de RCD	108
8. Conclusiones	109
9. Recomendaciones	111
Referencias.....	112



LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Marcolegal	18
Tabla 2. Resistencia requerida de diseño cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar	22
Tabla 3. Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción	22
Tabla 4. Valores recomendados de TMN según el tipo de construcción	23
Tabla 5. Valores recomendados para el contenido de aire en el concreto para varios grados de exposición	24
Tabla 6. Requerimientos aproximados de agua de mezclado	25
Tabla 7. Elección de relación agua/cemento	26
Tabla 8. Recomendaciones granulométricas para agregado grueso, según la norma ASTM C33 (NTC 174)	28
Tabla 9. Recomendaciones granulométricas para agregado fino, según la norma ASTM C33 (NTC 174)	29
Tabla 10. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto (B/BO)	30
Tabla 11. Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para 1,00 M3 de concreto	31
Tabla 12. Combinaciones de agregado grueso natural con RCD para ensayos respectivos	38
Tabla 13. Gradación de Agregado RCD 0% y Natural 100% según NTC 174	39
Tabla 14. Gradación de Agregado RCD 5% y Natural 95% según NTC 174	40
Tabla 15. Gradación de Agregado RCD 10% y Natural 90% según NTC 174	40
Tabla 16. Gradación de Agregado RCD 15% y Natural 85% según NTC 174	41
Tabla 17. Gradación de Agregado RCD 20% y Natural 80% según NTC 174	42
Tabla 18. Gradación de Agregado fino según la NTC 174	44
Tabla 19. Determinación de Volumen del cilindro utilizado para los ensayos	46
Tabla 20. Masa Unitaria suelta y compacta de agregado RCD 0% y natural 100% según NTC 92	46
Tabla 21. Propiedades físicas de agregado RCD 0% y natural 100% según NTC 176	46
Tabla 22. Masa Unitaria suelta y compacta de agregado RCD 5% y natural 95% según NTC 92	47
Tabla 23. Propiedades físicas de agregado RCD 5% y natural 95% según NTC 176	47
Tabla 24. Masa Unitaria suelta y compacta de agregado RCD 10% y natural 90% según NTC 92	47
Tabla 25. Propiedades físicas de agregado RCD 10% y natural 90% según NTC 176	48
Tabla 26. Masa Unitaria suelta y compacta de agregado RCD 15% y natural 85% según NTC 92	48
Tabla 27. Propiedades físicas de agregado RCD 15% y natural 85% según NTC 176	48
Tabla 28. Masa Unitaria suelta y compacta de agregado RCD 20% y natural 80% según NTC 92	49
Tabla 29. Propiedades físicas de agregado RCD 20% y natural 80% según NTC 176	49
Tabla 30. Masa Unitaria suelta y compacta de agregado fino según NTC 92	51
Tabla 31. Propiedades físicas de agregado fino según NTC 237	51

Tabla 32. Parámetros previos para el diseño de mezclas para el agregado grueso 0%RCD – 100%natural 52

Tabla 33. Calculo para determinar la relación agua – cemento para el agregado grueso 0%RCD – 100%natural 54

Tabla 34. Calculo para determinar volúmenes de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 0%RCD – 100%natural 56

Tabla 35. Cantidad másica de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 0%RCD – 100%natural 57

Tabla 36. Correcciones de humedad para concreto en agregado grueso 0%RCD – 100%natural 57

Tabla 37. Cantidad másica de materiales con corrección de humedad y proporciones para la dosificación de concreto en agregado grueso 0%RCD – 100%natural 58

Tabla 38. Parámetros previos para el diseño de mezclas para el agregado grueso 5%RCD – 95%natural 58

Tabla 39. Calculo para determinar volúmenes de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 5%RCD – 95%natural 61

Tabla 40. Cantidad másica de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 5%RCD – 95%natural 61

Tabla 41. Correcciones de humedad para concreto en agregado grueso 5%RCD – 95%natural 62

Tabla 42. Cantidad másica de materiales con corrección de humedad y proporciones para la dosificación de concreto en agregado grueso 5%RCD – 95%natural 62

Tabla 43. Parámetros previos para el diseño de mezclas para el agregado grueso 10%RCD – 90%natural 63

Tabla 44. Calculo para determinar volúmenes de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 10%RCD – 90%natural 65

Tabla 45. Cantidad másica de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 10%RCD – 90%natural 66

Tabla 46. Correcciones de humedad para concreto en agregado grueso 10%RCD – 90%natural 66

Tabla 47. Cantidad másica de materiales con corrección de humedad y proporciones para la dosificación de concreto en agregado grueso 10%RCD – 90%natural 67

Tabla 48. Parámetros previos para el diseño de mezclas para el agregado grueso 15%RCD – 85%natural 67

Tabla 49. Calculo para determinar volúmenes de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 15%RCD – 85%natural 70

Tabla 50. Cantidad másica de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 15%RCD – 85%natural 70

Tabla 51. Correcciones de humedad para concreto en agregado grueso 15%RCD – 85%natural 71

Tabla 52. Cantidad másica de materiales con corrección de humedad y proporciones para la dosificación de concreto en agregado grueso 15%RCD – 85%natural 72

Tabla 53. Parámetros previos para el diseño de mezclas para el agregado grueso 20%RCD – 80%natural 72

Tabla 54. Calculo para determinar volúmenes de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 20%RCD – 80%natural 74

Tabla 55. Cantidad másica de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 20%RCD – 80%natural 75

Tabla 56. Correcciones de humedad para concreto en agregado grueso 20%RCD – 80%natural 75

Tabla 57. Cantidad másica de materiales con corrección de humedad y proporciones para la dosificación de concreto en agregado grueso 20%RCD – 80%natural 76

Tabla 58. Valores correspondientes al diseño de mezcla según las combinaciones de agregado grueso 77

Tabla 59. Promedio de resistencias a la compresión de los cilindros de concreto de acuerdo a el porcentaje de RCD 80

Tabla 60. Módulo de elasticidad estático para diseño de mezcla 0%RCD-100% natural 81

Tabla 61. Módulo de elasticidad estático para diseño de mezcla 5% RCD-95% natural 82

Tabla 62. Módulo de elasticidad estático para diseño de mezcla 10% RCD-90% natural 83

Tabla 63. Módulo de elasticidad estático para diseño de mezcla 15% RCD-85% natural 83

Tabla 64. Módulo de elasticidad estático para diseño de mezcla 20% RCD-80% natural 84

Tabla 65. Promedio de módulo de elasticidad estático de acuerdo a porcentaje de RCD 84

Tabla 66. Coeficiente de correlación de Pearson del módulo de elasticidad estático Vs Resistencia 86

Tabla 67. Módulo de elasticidad dinámico para diseño de mezcla 0%RCD-100% natural 87

Tabla 68. Módulo de elasticidad dinámico para diseño de mezcla de 5% RCD-95% natural 88

Tabla 69. Módulo de elasticidad dinámico para diseño de mezcla de 10% RCD-90% natural 88

Tabla 70. Módulo de elasticidad dinámico para diseño de mezcla 15% RCD-85% natural 89

Tabla 71. Módulo de elasticidad dinámico para el diseño de mezcla 20% RCD-80% natural 89

Tabla 72. Promedio de módulo de elasticidad dinámico de acuerdo a porcentaje de RCD 90

Tabla 73. Coeficiente de correlación de Pearson del módulo de elasticidad dinámico Vs resistencia 92

Tabla 74. Módulos de elasticidad estático en valores kg/cm^2 93

Tabla 75. Módulos de elasticidad dinámico en valores kg/cm^2 93

Tabla 76. ANOVA de los resultados al 95% de los tratamientos (agregados + RCD) del módulo estático 95

Tabla 77. Comparación múltiple de los tratamientos (agregados + RCD) del módulo estático usando la prueba TUKEY 95

Tabla 78. Comparación múltiple de los tratamientos (agregados + RCD) del módulo estático usando la prueba SCHEFFE 96

Tabla 79. ANOVA de los resultados al 95% de los tratamientos (agregados + RCD) para el módulo dinámico 100

Tabla 80. Comparación múltiple de los tratamientos (agregados + RCD) del módulo dinámico usando la prueba TUKEY y SCHEFFE 101

Tabla 81. Comparación por parejas de los tratamientos (agregados + RCD) del módulo dinámico usando la prueba de comparación por parejas 102

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Propiedades del concreto	13
Ilustración 2. Ubicación de Valledupar.	17
Ilustración 3. Área de estudio. Cuenca baja del río Guatapurí.	18
Ilustración 4. Ubicación de zona de estudio de selección de RCD - Río Guatapurí	36
Ilustración 5. Proceso de trituración y selección de RCD a tamaño de 1" en V&O ingenierías	37
Ilustración 6. Proceso de lavado de RCD en V&O ingenierías	38
Ilustración 7. Combinación de agregado grueso natural + RCD	39
Ilustración 8. Proceso de elaboración de mezclas de concreto según las combinaciones	77
Ilustración 9. Proceso de curado de los especímenes en piscinas de V&O ingenierías S.A.S	78
Ilustración 10. Mediciones de masa, altura y diámetro de los especímenes.	79
Ilustración 11. Procedimiento de ensayo de resistencia a compresión	79
Ilustración 12. Procedimiento Para medición de velocidad de onda promedio	100
Ilustración 13. Software informático IBM SPSS Statistic versión 28.0	93
Ilustración 14. Software con datos de los módulos de elasticidad estático IBM SPSS Statistic versión 28.0	94
Ilustración 15. Software con datos de los módulos de elasticidad dinámico IBM SPSS Statistic versión 28.0	99



LISTA DE GRÁFICAS

- Gráfica 1.** Módulo de elasticidad 14
- Gráfica 2.** Cumplimiento de %pasa de agregado RCD + natural con NTC 174 (5-10-15-20) %. 42
- Gráfica 3.** Cumplimiento de %pasa de agregado RCD + natural con NTC 174 (0) %. 43
- Gráfica 4.** Cumplimiento de %pasa de agregado fino con NTC 174. 44
- Gráfica 5.** Comparación de pesos unitarios compacto y suelto de los agregados gruesos. 49
- Gráfica 6.** Porcentaje de absorción de los agregados gruesos. 50
- Gráfica 7.** Promedio de resistencia del concreto en cada a mezcla de concreto con 0% 5% 10% 15% y 20% de RCD 80
- Gráfica 8.** Promedio y tendencia del módulo de elasticidad estático del concreto 84
- Gráfica 9.** Correlación lineal Módulo de elasticidad estático vs resistencia a la compresión 85
- Gráfica 10.** Promedio y tendencia del módulo de elasticidad dinámico del concreto 90
- Gráfica 11.** Correlación lineal Módulo de elasticidad dinámico vs resistencia a la compresión 92
- Gráfica 12.** Comparación de promedios de los módulos de elasticidad estático (kg/cm^2) de los tratamientos (agregados + RCD). 97
- Gráfica 13.** Comparación de promedios de los módulos de elasticidad dinámico (kg/cm^2) de los tratamientos (agregados + RCD). 104



LISTA DE ECUACIONES

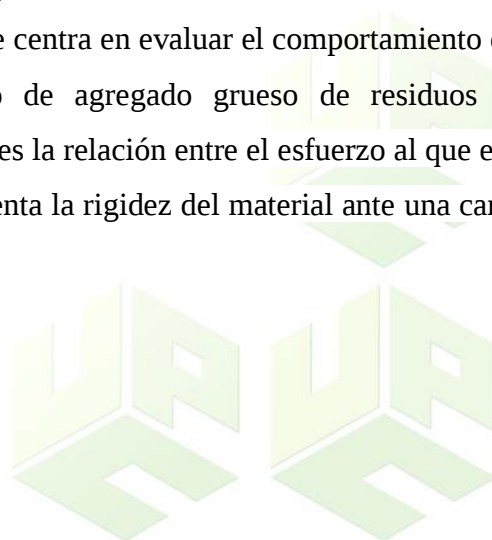
Ecuación 1. Cálculo para determinar el valor de contenido de cemento	27
Ecuación 2. Cálculo para determinar el valor de la masa del agregado grueso.	29
Ecuación 3. Cálculo para determinar el volumen de cada material.	30
Ecuación 4. Cálculo para determinar el volumen del agregado fino.	31
Ecuación 5. Cálculo para determinar el módulo de elasticidad estático.	32
Ecuación 6. Cálculo para determinar el módulo de elasticidad dinámico.	32
Ecuación 7. Modelo matemático del diseño experimental completamente al azar	34
Ecuación 8. Cálculo de módulo de finura para el agregado grueso 0%RCD – 100%natural	45
Ecuación 9. Cálculo de resistencia de diseño con base a la resistencia a compresión agregado grueso 0%RCD – 100%natural	53
Ecuación 10. Cálculo de contenido de cemento para el agregado grueso 0%RCD – 100%natural	55
Ecuación 11. Cálculo de masa de agregado grueso 0%RCD – 100%natural	55
Ecuación 12. Cálculo de contenido de cemento para el agregado grueso 5%RCD – 95%natural	60
Ecuación 13. Cálculo de masa de agregado grueso 5%RCD – 95%natural	60
Ecuación 14. Cálculo de masa de agregado grueso 10%RCD – 90%natural	65
Ecuación 15. Cálculo de masa de agregado grueso 15%RCD – 85%natural	69
Ecuación 16. Cálculo de masa de agregado grueso 20%RCD – 80%natural	74



Introducción

La construcción de obras civiles tiene como uno de sus propósitos satisfacer necesidades básicas de la población acondicionando el entorno y mejorando notablemente la calidad de vida. A pesar de ello, dicho beneficio se ve opacado por el pasivo ambiental que surge del manejo inadecuado de los residuos generados en las diferentes etapas del proceso, partiendo desde la generación de materiales de construcción hasta la ejecución misma de la obra. Siendo esta última el eje central de esta investigación debido a los residuos sólidos que surgen de la ejecución de las actividades que la componen, los cuales se conocen como residuos de la construcción y la demolición (RCD). Los RCD son materiales de desecho generados durante las diferentes etapas de un proyecto de construcción civil, lo cual incluye estructuras y materiales rechazados, materiales que han sido utilizados y se han deteriorado, e inclusive, aquellos derivados de actividades de excavación y limpieza del lugar al finalizar la obra, entre otros (Blandón et al., 2018).

Debido a este cuadro que se presenta, en la actualidad se hace necesario buscar la transformación de operaciones, entre ellas encontrar una materia prima que haga de la construcción una industria que genere el menor impacto ambiental posible. En esa línea, se ha encontrado que los RCD son una muy buena opción porque evitan la degradación de recursos naturales no renovables; pero, desde el punto de vista netamente económico, el concreto reciclado resulta atractivo cuando el producto es competitivo con otros materiales en relación con el costo y la calidad (Bedoya, 2003). Este estudio se centra en evaluar el comportamiento del módulo de elasticidad del concreto con reemplazo de agregado grueso de residuos de construcción y demolición; esta propiedad del concreto es la relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. Representa la rigidez del material ante una carga impuesta sobre el mismo.



1. Título del proyecto de investigación

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL
CONCRETO CON REEMPLAZO DE AGREGADO GRUESO POR RESIDUOS DE
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN



2. Planteamiento y formulación del Problema

2.1. Descripción Del Problema

Se estima que, en el mundo, se fabrican alrededor de 25 billones de toneladas de concreto cada año. La cantidad de concreto utilizado en construcción dobla la cantidad del resto de materiales utilizados incluyendo madera, acero, plástico, y aluminio (Agreda & Moncada, 2015).

En Colombia, concordante con el desarrollo y auge de la infraestructura durante los últimos 10 años (DNP, 2017), el sector de la construcción es uno de los más dinámicos debido a la modernización de la deficitaria red vial colombiana y el desarrollo de la construcción de infraestructura, por lo cual es uno de los mayores generadores de volúmenes considerables de residuos de la construcción, trayendo consigo una gran crisis ambiental, derivada del vertimiento y disposición inadecuada de dichos materiales (DNP, 2014).

La mayoría de los agregados para el concreto, son materiales pétreos, que para poder conseguirlos se debe acudir a las diferentes canteras que puedan existir cerca al sitio de emplazamiento de la obra a realizar, esto es lo normal en cualquier proyecto constructivo; sin embargo, las canteras a pesar de beneficiarnos con sus materiales, representan un impacto ambiental nocivo asociado a la sobreexplotación de minerales en cantera y la degradación del entorno que conlleva además a afectaciones sociales y de la salubridad de las comunidades cercanas a la explotación minera (Duran, 2015).

Por otra parte, existe una realidad de desconocimiento y poca información sobre el manejo de gestión, tratamiento y aprovechamiento de los RCD. Los constructores no cuentan con herramientas óptimas para la separación y clasificación de escombros, ni especificaciones ni recomendaciones técnicas que describan los procesos y campos de aplicación confiables de estos residuos dentro de una obra de construcción, desincentivando su introducción en la actividad constructora (Cruz & Gómez, 2013).

La problemática que se tiene con estos residuos queda en evidencia cuando se producen los vertimientos ilegales en diferentes lugares del espacio urbano de la ciudad, afectado así al tránsito peatonal y vehicular (Castellanos & Quiroga, 2010), generando conflictos en el sistema de alcantarillado de la ciudad que se ve colmatado por RCD arrastrados por escorrentía al ser tirados en vías públicas, lo que se evidencia en los periodos invernales de la ciudad con canales y vías inundadas causando costos adicionales de mantenimiento de estos sistemas a la administración de la ciudad de Valledupar (Botero, 2003).

A nivel local, en la ciudad de Valledupar hay cerca de 16 escombreras ilegales, entre esas, una descubierta recientemente en inmediaciones del río Guatapurí la cual causa un grave impacto ambiental en este ecosistema (Daniela Cárdenas, 2019).

2.2. Formulación Del Problema

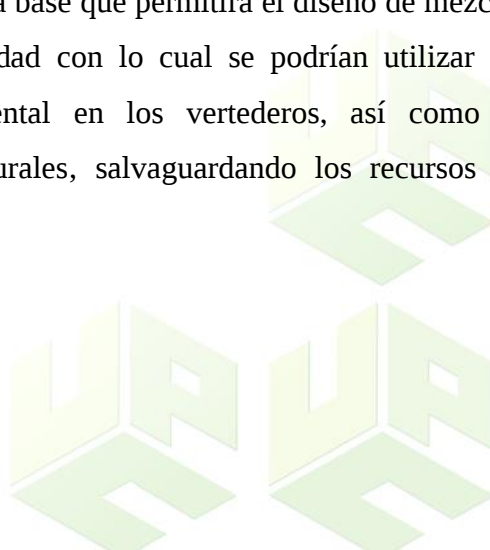
¿Cuál es el comportamiento mecánico del módulo de elasticidad del concreto con reemplazo de agregado grueso con residuos de construcción y demolición?



3. Justificación Del Problema

En el mundo, debido a las preocupaciones por los impactos ambientales que generan alteraciones en los ecosistemas, principalmente por las construcciones de infraestructura, están tomando fuerza y ganando credibilidad las propuestas de recuperación y conservación del medio ambiente a través de proyectos de construcción sostenible como lo son la reutilización de RCD lo cual genera menos impactos negativos al ambiente, además, reduce la generación de residuos y escombros desde la fase de diseño de un proyecto, (Escandón, 2011). Además, se encuentra la posibilidad de representar también beneficios económicos, por ejemplo, un estudio realizado por Salazar (2005) concluye que, en el caso del proyecto de la población de Vijes, municipio de departamento del Valle del Cauca – Colombia, presentó una reducción del 14% aproximadamente en el costo total del proyecto gracias a la utilización de agregados reciclados.

En Colombia el tema ambiental en la construcción ha tenido gran relevancia en las últimas décadas. Por tanto el gobierno nacional a través del ministerio del medio ambiente está incentivando el uso de materiales, metodologías y técnicas sostenibles, con el ánimo de cuidar los recursos y asegurar que las generaciones futuras disfruten de condiciones óptimas para su desarrollo (Agreda & Moncada, 2015) por lo cual este estudio permite cumplir con estas directrices y con la resolución 472 del 2017 por medio de la cual se reglamenta la gestión integral de residuos generados en las actividades de construcción y demolición. En el caso de la ciudad de Valledupar, el presente estudio representa una base que permitirá el diseño de mezclas de concreto que cumplan con los estándares de calidad con lo cual se podrían utilizar los escombros existentes reduciendo el impacto ambiental en los vertederos, así como la considerable reducción en el uso de agregados naturales, salvaguardando los recursos no renovables.



4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Evaluar el comportamiento del módulo de elasticidad del concreto con reemplazo de agregado grueso con residuos de construcción y demolición.

4.2. Objetivos Específicos

- Diseñar mezclas de concreto para distintas proporciones 5%, 10%, 15% y 20% de residuos de construcción y demolición (RCD).
- Determinar el módulo elasticidad dinámica y estático de los diseños de mezclas de concreto con agregado grueso por proporciones de residuos de construcción y demolición.
- Recomendar las posibles aplicaciones del concreto con los diferentes materiales reciclados.



5. Marco Referencial

5.1. Antecedentes Investigativos

A continuación, se mencionan algunas investigaciones que permitan ilustrar y constatar con validez científica la metodología y resultados de esta investigación.

Sánchez (2012) realizaron una tesis titulada *“propiedades mecánicas y durabilidad de concretos haciendo uso de agregados reciclados en construcción de viviendas en el municipio de Ocaña Norte De Santander”*, para optar el título de Ingeniería Civil, en la Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña. Se realizaron los ensayos correspondientes con la finalidad de conocer el efecto del reemplazo de 20 % y 40% de agregado grueso reciclado en las siguientes propiedades relacionadas con la valoración de la durabilidad del concreto reciclado: permeabilidad a los cloruros, carbonatación, tasa de absorción superficial inicial, sulfatos, resistencia a compresión, módulo elástico, y resistencia a flexión del concreto. En cuanto al ensayo de elasticidad se concluye que no hay disminución en el material final. Este estudio brindará aportes directos a la presente investigación ya que genera una información amplia de cómo seleccionar concreto triturado de buena calidad para reemplazar el agregado grueso natural, como también se puede observar resultados satisfactorios en la utilización de agregados reciclados en diferentes porcentajes para el módulo de elasticidad.

Bedoya y Dzul (2015) realizaron una investigación titulada *“El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana”*; con la finalidad de abordar la confección de un concreto usando agregados reciclados obtenidos de la valorización de escombros de concreto y mampostería. Se muestran aspectos como resistencia al esfuerzo de la compresión a 3, 7, 14, 28, 56 y 91 días; porosidad, velocidad de pulso ultrasónico y carbonatación; costo económico en comparación con un concreto convencional; y una reseña de las políticas públicas de Construcción Sostenible y aprovechamiento de escombros formuladas en Medellín, Colombia. La resistencia al esfuerzo de la compresión y las medidas de velocidad de pulso ultrasónico en algunas mezclas fueron del orden del 98 % de la mezcla de referencia; así mismo la mezcla confeccionada con 100 % de agregados reciclados, mostró una diferencia en cuanto a

la profundidad de carbonatación de tan solo 0.7 mm con respecto a la mezcla de referencia para una edad simulada de 27 años. Los resultados obtenidos con sustituciones de agregados naturales por agregados reciclados gruesos y finos en porcentajes del 25 %, 50 % y 100 %, y el avance en los lineamientos político-administrativos de la municipalidad en los once años recientes, permiten deducir la posibilidad de confeccionar concretos estructurales y no estructurales para uso masivo en la construcción. Este estudio es pertinente con la investigación aquí planteada ya que provee contenidos estadísticos los cuales son adecuados para el análisis con respecto a la utilización de agregados reciclados, como también muestra que los RCD pueden ser susceptibles de emplearse como materias primas en un nuevo material para la construcción.

Palomino y Maldonado (2018). Realizaron una tesis titulada “*Sustitución experimental del agregado grueso de origen pétreo, por agregado grueso producto de residuos de construcción y demolición en la ciudad de Bogotá, para la elaboración de concreto hidráulico.*” Para optar el título de ingeniero civil de la Universidad Francisco José de Caldas, con la finalidad de estudiar el comportamiento de la resistencia del concreto de agregados de residuos de construcción y demolición. Para esta investigación se realizó la selección del agregado grueso producto de RCD (Residuos de construcción y demolición), posterior a esto se lleva al laboratorio INGEYMA LTDA, donde se realizan los ensayos al agregado grueso de RCD; con los resultados obtenidos de granulometría y haciendo uso del diseño de mezcla empleado como muestra patrón, el cual fue desarrollado por el método ACI con agregado grueso de origen natural, se elaboran muestras de concreto hidráulico, sustituyendo el agregado grueso de origen natural por agregado grueso producto de la trituración de RCD en porcentajes determinados de 50%, 75% y 100%, donde se revisará la resistencia al esfuerzo de la compresión a los 7, 14 y 28 días, así mismo se realiza el análisis de la información obtenida mediante un análisis comparativo de las propiedades mecánicas teóricas de la mezcla de concreto de agregado de origen pétreo con relación a la mezcla de concreto elaborada con agregado grueso a partir del aprovechamiento de RCD, donde se establece la viabilidad económica por medio del análisis de los precios unitarios APUS, Tomando como principio la Construcción Sostenible y el aprovechamiento de los RCD producidos en Bogotá D.C. Este estudio es pertinente con la investigación aquí planteada ya que aborda los análisis estadísticos de la resistencia del concreto y su módulo de elasticidad con diferentes porcentajes de RCD como también incluye contenido

que son adecuados para determinar la factibilidad de desarrollar mezclas de concreto sustituyendo el agregado grueso de origen natural.

Guacaneme (2015) realizó una investigación titulada *“ventajas y uso del concreto reciclado”*; para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Militar Nueva Granada, con la finalidad de analizar otras fuentes de materia prima para la fabricación de concreto. La alta inversión en infraestructura del sector público y privado ha generado un incremento en los últimos años en la producción de concreto en Colombia. Los estudios muestran un aumento en la producción de concreto, de lo que se deduce una mayor demanda en la utilización de materiales y la generación de un mayor volumen de residuos de construcción y demolición, lo cual genera un alto impacto al medio ambiente. En el artículo se muestra como en diferentes países se han desarrollado normas y leyes, con el fin de tomar medidas ambientales sobre reglamentación del uso de residuos de construcción (RCD), con el propósito de preservar el medio ambiente y de cómo en Colombia se han implementado ciertos lineamientos que permiten el aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción. Se detalla que el concreto reciclado aparece como una opción innovadora a la hora de reducir los residuos de construcción y evitar la explotación de materias primas no renovables, por lo que se describen los avances que ha tenido su implementación y las ventajas ambientales que conllevan su uso. Este estudio es pertinente con la investigación aquí planteada, ya que muestra una evaluación amplia sobre los usos que puede tener los RCD en cada línea de la construcción, como también los beneficios globales para el desarrollo sostenible.

Moreno, Ospina y Rodríguez (2019) realizó un artículo titulado *“Propiedades mecánicas del concreto fabricado con agregados reciclados extraídos de escombros de la mampostería (todos los elementos utilizados para la construcción de paredes y tabiques) de arcilla cocida”*. El artículo fue desarrollado con el fin de analizar el concreto reciclado elaborado con agregados extraídos de escombros de ladrillos de arcilla cocida y sus efectos en los estudios de resistencia y de elasticidad; se realiza una revisión del estado de arte y se presenta un caso de estudio de un establecimiento penitenciario ubicado en la costa Atlántica Colombiana, realizando pruebas mecánicas en muestras obtenidas de las columnas, en donde se empleó este tipo de concreto. Los resultados en cuanto al módulo de elasticidad muestran que esta propiedad típicamente es menor

que a la de concretos tradicionales y el uso de agregado Crushed Clay Bricks (CCB) cómo agregado grueso presenta la mayor influencia (Cabral, Schalch, DalMolin, & Ribeiro, 2010). Un alto reemplazo de agregado grueso de bloque de arcilla cocido reduce el módulo de elasticidad significativamente; Aliabdo determinó una reducción en el módulo de elasticidad en concretos con CCB entre 20.0 y 34.5 a 20 MPa para una mezcla con un contenido de cemento de 350 kg y $A/C = 0.5$ y, de 16 a 28 MPa para un contenido de cemento de 250 kg y $A/C = 0.7$. Estas reducciones son típicamente atribuidas a la alta porosidad del bloque de arcilla comparado con los agregados pétreos naturales (Adamson, Razmjoo, & Poursaee, 2015). Este estudio brinda aportes directos a la presente investigación con análisis comparativo de los diferentes estudios sobre el uso de triturado de bloque de arcilla haciendo énfasis en la resistencia a la compresión como también muestra los resultados sobre los efectos del reemplazo de agregado grueso en el módulo de elasticidad.

5.2. Marco Teórico

Con el propósito de fundamentar la investigación, es necesario precisar algunas pautas teóricas, con el fin de abrir una concepción y percepción más audaz de la investigación.

5.2.1. Residuos de construcción y demolición

Los residuos de construcción y demolición denominados RCD son aquellos que provienen directamente de la industria de la construcción (Gaitán, 2013). Si bien los residuos generados por esta actividad no generan el mismo efecto como los residuos orgánicos, son comúnmente eliminados en botaderos ilegales e informales, a falta de gestión y tratamiento. Inclusive, pueden ser abandonados en sitios naturales (Guzenski, 2015). Han creado un efecto ambiental negativo, permitiendo el surgimiento de una cultura de un vertido insostenible, con verdaderas consecuencias por su negligencia (Santos, Monercillo & Garcia, 2011).

5.2.1.1. Tipos de residuos de construcción y demolición (RCD). A continuación, se presenta su clasificación según lo establece la Guía para la elaboración del Plan de

Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) de la secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá, Colombia (2015):

RCD Aprovechables.

- Residuos pétreos tales como: Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques, fragmentos de roca, baldosín y mortero).
- Residuos finos no expansivos como: Arcillas (caolín), limos y residuos inertes, poco o no plásticos.
- Residuos finos expansivos ejemplos: Arcillas (montmorillonitas) y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos, entre otros.
- Residuos no pétreos siendo los principales los siguientes: Plásticos, PVC, maderas, cartones, papel, siliconas, vidrios, cauchos, etc.
- Residuos de carácter metálico tales como: Acero, hierro, cobre, aluminio, estaño y zinc.
- Residuos orgánicos vegetales o de tierra negra.

5.2.1.2. RCD no aprovechables. Residuos peligrosos, es decir: Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, resinas, plastificantes, tintas, betunes, barnices, tejas de asbesto, escorias, plomo, cenizas volantes, luminarias, desechos explosivos, etc.

5.2.2. Agregados

“Son materiales granulares sólidos inertes que pueden ser naturales, artificiales o reciclados, los mismos pueden ser empleados en la fabricación de productos mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos” (Quisphe & Guevara, 2012, pág. 10). Los agregados, según su origen, ya sean fuentes naturales, productos industriales o residuos de construcción, se clasifican en:

- Agregados naturales: provienen de una fuente natural creados en una roca madre a partir de la cual, mediante un proceso de fragmentación por trituración

mecánica, se crean agregados con características para ser implementados en sistemas constructivos (Quisphe & Guevara, 2012).

- Agregados artificiales: vienen de un proceso industrial, y comúnmente son de mayor o menor densidad que los agregados naturales (Quisphe & Guevara, 2012).
- Agregados reciclados: se originan directamente del proceso de construcción, en el tratamiento de residuos inorgánicos utilizados en la construcción y, en ocasiones, son creados por la demolición y desmantelamiento de estructuras (Véliz, 2011).

Los agregados de acuerdo con su tamaño se clasifican en:

- Agregado Fino (Arena): Es el material que pasa en un 95% de sus partículas por el tamiz No.4, de 4.76 mm (3/16”) de abertura entre hilos (Ferreira & Torres, 2014).
- Agregado Grueso (Grava): Es el material que queda retenido 100% en el tamiz N° 4 o superior. (Argos, 2020).



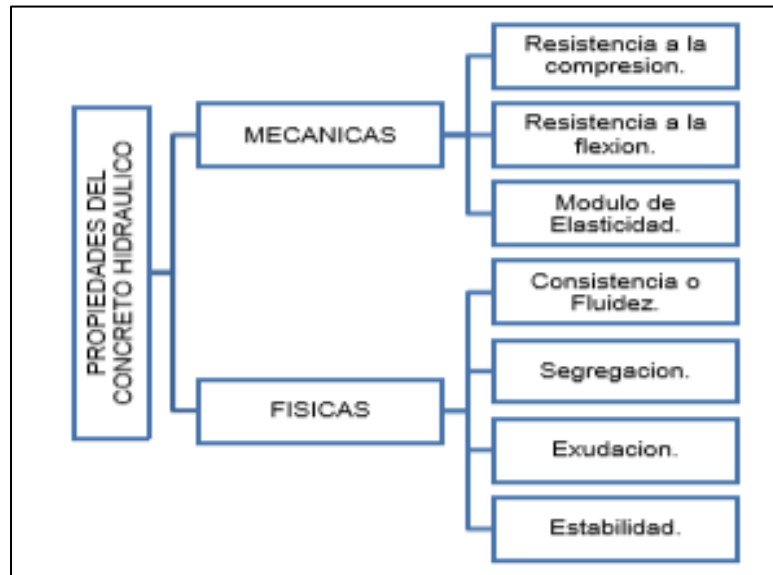
5.2.3. *Propiedades del concreto*

En cuanto a las propiedades del concreto se observa en la

Ilustración 1.

Ilustración 1

Propiedades del concreto



Nota: se muestran las propiedades del concreto, tomado de *Palomino y Maldonado, 2018*.

A continuación, se define el módulo de elasticidad que es la propiedad que se está estudiando en esta investigación.

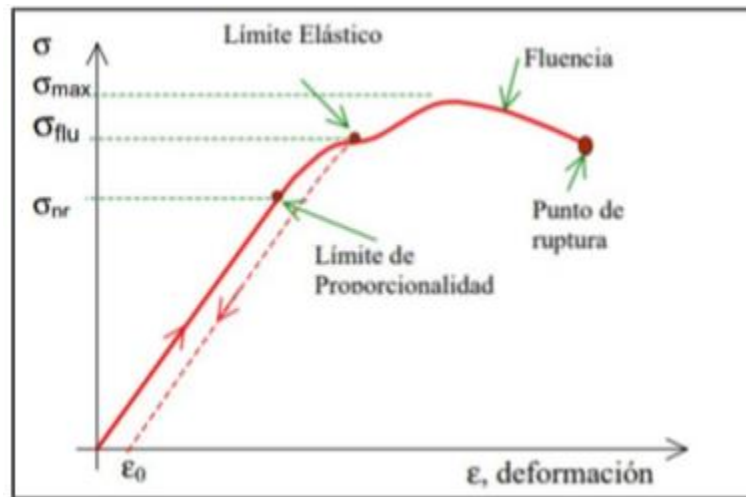
5.2.4. *Módulo de elasticidad*

El módulo de elasticidad o módulo de Young es una propiedad característica de cada material que indica la relación entre el esfuerzo al que está sometido el mismo y su deformación unitaria. Esta hace referencia a la rigidez del material ante una carga impuesta sobre el mismo. Cuando la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria a que está sometido el material es lineal, constante y los esfuerzos aplicados no alcanzan el límite de proporcionalidad, el material

tiene un comportamiento elástico que cumple con dicha ley (Palomino & Maldonado, 2018). Aplicación de la ley de Hooke o módulo de elasticidad se observa en la **Gráfica 1**.

Gráfica 1

Módulo de elasticidad



Nota: se muestra las propiedades elásticas del concreto, tomado de *Palomino y Maldonado, 2018*

5.2.5. Factores que afectan el módulo de elasticidad del concreto

Los factores que afectan el módulo de elasticidad del concreto son:

- La microestructura del concreto presenta una estructura heterogénea que exhibe diferentes comportamientos durante el proceso de carga debido a las diversas fases de los agregados, la matriz de pasta y a la interface de agregado de pasta. De esta manera, un cambio en la calidad de cualquiera de los componentes fundamentales representa un cambio en la respuesta del módulo y en general en el comportamiento del concreto (Serrano & Pérez, 2010).
- La resistencia a compresión de los agregados y de la pasta endurecida es mucho mayor que la resistencia del concreto o del mortero. Sin embargo, el concreto exhibe mayor comportamiento dúctil que cada uno de los componentes considerado en forma individual. En otras palabras, el comportamiento elástico del concreto es más alto que las otras fases y los otros componentes de la mezcla. Son varios los factores que afectan el módulo de elasticidad de un

concreto, unos tendrán relación con los materiales y otros con las reacciones que se dan en estado plástico y endurecido (Serrano & Pérez, 2010).

- La porosidad y el módulo de elasticidad de los agregados también son elementos importantes en la determinación de la rigidez. Es así como Módulos de Elasticidad de materiales no porosos con alta densidad producen módulos de elasticidad extremadamente altos. La relación agua/cemento influye también en el módulo de elasticidad tanto de la pasta como del concreto. Morteros con relaciones A/C bajas ocasionan un incremento en el módulo de elasticidad del concreto (Serrano & Pérez, 2010).
- El conocimiento del valor del módulo de elasticidad del concreto es esencial en la determinación de la deflexión del concreto reforzado y pre-esforzado utilizado en las estructuras. La estimación del E_c está basada normalmente en el valor de la resistencia a compresión lo cual no es una práctica que debiera generalizarse porque es sabido que la resistencia del concreto se ve afectada por factores relacionados con la calidad de los agregados y con la relación agua/cemento, entre otros. El problema se torna complicado cuando se sustituyen los agregados naturales por agregados artificiales o preparados. Esto puede llegar a afectar los valores del módulo de elasticidad (Balendran, 1995).

5.3. Marco Conceptual

En la presente investigación se tendrán en cuenta los siguientes conceptos, que facilitarán el entendimiento de esta:

Agregado: Material Granular, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico (Gutiérrez, 2003).

Cemento: El cemento es un polvo fino que se obtiene al poner en temperaturas muy altas una mezcla de piedra caliza, arcilla y otras sustancias. Es un material que reacciona con el agua y

que actúa como aglutinante, presenta propiedades de adherencia y cohesión, produciendo compuestos que son muy resistentes (Argos, 2017).

Concreto: El concreto es el material resultante de la mezcla de cemento con agregados y agua, utilizado para estructuras que pueden soportar grandes cargas (Argos, 2017).

Concreto reciclado: Se entiende por concreto reciclado a todos los áridos (agregados) finos o gruesos que son obtenidos mediante los procesos de demolición en plantas especializadas de reciclados que se encargan de separar los agregados de materiales inservibles para la reutilización para un nuevo concreto (Forero, 2016).

Escombros: Es todo residuo sólido sobrante de la actividad de la construcción, de la realización de obras civiles o de otras actividades conexas complementarias o análogas (secretaría Distrital de Ambiente, 2012).

Escombrera: Sitios de disposición final de escombros, concretos, y agregados sueltos de construcción, demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación (Ministerio del Medio Ambiente, 1994).

Reciclaje: proceso realizado por gestores especiales sobre los residuos generados, cuyo objeto es la transformación de éstos en insumos (Blandón, et al., 2018).

Reducción: estrategia de gestión que promueve el empleo mínimo y eficiente de los residuos sólidos, con miras a generar los menores volúmenes de estos (Blandón, et al., 2018).

Reutilización: acción de darle un siguiente uso a los residuos sólidos generados en cualquier actividad, para efectos de alargar su ciclo de vida (Blandón, et al., 2018).

Transportador: cualquier persona natural o jurídica que preste servicios de recolección y traslado de residuos sólidos desde puntos de generación, asumiendo la titularidad de estos (Blandón, et al., 2018).

5.4. Marco Contextual

Valledupar es un municipio colombiano, capital del departamento del Cesar. Es la cabecera del municipio homónimo, el cual tiene una extensión de 4493 km², 443.414 habitantes y junto a su área metropolitana reúne 662 9413 habitantes; está conformado por 25 corregimientos y 102 veredas. El casco urbano tiene una longitud norte-sur de 8.3 km y este-

oeste de 6.2 km, se encuentra a una altitud que oscila entre los 220 m al norte y 150 m a sur, siendo la altitud media de 168 m (Observar figura 3).

Ilustración 2

Ubicación de Valledupar.



Nota: se presenta el mapa territorial de la ciudad de Valledupar, tomado de *Google maps*, 2018

Está ubicada al nororiente de la Costa Caribe colombiana, a orillas del río Guatapurí, en el valle del río Cesar formado por la Sierra Nevada de Santa Marta y la serranía del Perijá. El municipio de Valledupar limita por el Norte con los departamentos de Magdalena y la Guajira, por el Sur con los municipios de San Diego, La Paz y el Paso, por el Este con la Guajira y los municipios de San Diego y la Paz y por el Oeste con el Magdalena y los municipios de Bosconia y el Copey.

Está conformado por 6 zonas geográficas: Zona Norte: consta de 5 corregimientos y 42 veredas. Corregimientos: Atanquez, Guatapurí, Chemesquemena, La Mina, Los Haticos. Zona Nororiental: 10 corregimientos y 4 veredas. Corregimientos: Guacóche, Guacochito, La Vega arriba, Los Corazones, El Jabo, Las Raíces, El Alto la Vuelta, Badillo, Patillal y Río Seco. Zona Suroriental: 2 corregimientos y 13 veredas. Corregimientos: Aguas Blancas y Valencia de Jesús. Zona Sur: 4 corregimientos y 15 veredas. Corregimientos: Guaimaral, Caracolí, Los Venados, El Perro. Zona Suroccidental: 2 corregimientos y 30 veredas. Corregimientos: Mariangola y Villa

Germania y Zona Noroccidental: 2 corregimientos y 21 veredas. Corregimientos: Sabana Crespo y Azúcar Buena.

5.4.1. Área De Estudio

A continuación, en la ilustración 4 se observa el lugar en donde se tomarán los residuos de construcción y demolición.

Ilustración 3

Área de estudio. Cuenca baja del río Guatapurí.



Nota: se presenta el mapa territorial de la ciudad de Valledupar con la ubicación del punto de recolección de RCD, tomado de *Google Earth, 2018*.

5.5. Marco Legal

A continuación, se referencia el marco normativo ambiental aplicable a la gestión y reutilización de escombros a nivel distrital y la normativa técnica empleada en la caracterización física y mecánica de los agregados y concretos.

Tabla 1

Marco legal

NORMATIVIDAD	DESCRIPCIÓN
Constitución política de Colombia	A través de la carta magna se incluyen las disposiciones ambientales en la legislación colombiana. En sus artículos 79 y 80 señala la obligación del Estado de prevenir los factores de deterioro, garantizar el medio ambiente sano y promover el desarrollo sostenible.
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y

NORMATIVIDAD	DESCRIPCIÓN
Ley 1259 del 2008	conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental y el SINA. Mediante esta ley se logra concretar en un solo documento las normas y principios que influyen en el control y formulación de políticas ambientales a escala nacional (Congreso de la República, 1993) Por medio de la cual se insta en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros”.
Decreto 2811 de 1947	Por el cual se dicta el Código Nacional de los Recursos Naturales de Protección al Medio Ambiente. Establece que el medio ambiente es patrimonio común, el Estado y particulares deben participar en su preservación y manejo.
Decreto 1713 de 2002	“Recolección de escombros. Es responsabilidad de los productores de escombros su recolección, transporte y disposición en las escombreras autorizadas. El Municipio o Distrito y las personas prestadoras del servicio de aseo son responsables de coordinar estas actividades en el marco de los programas establecidos para el desarrollo del respectivo Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS”.
Resolución 541 de 1994	Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación
Resolución 1472 del 2017	Esta rige a nivel nacional, en la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición RCD y se dictan otras disposiciones.
NTC 176 1995	Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso
NTC 237 1995	Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino. Se aclara que, para determinar el peso unitario de cada agregado.
NTC 92 1995	Ingeniería civil y arquitectura. Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados
NTC 174 2000	Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto
NTC 4025 2006	Determina el módulo de elasticidad secante (o módulo de Young) y la relación de Poisson de cilindros de concreto normalizados y núcleos de concreto, cuando éstos se hallan bajo esfuerzos de compresión longitudinal.

6. Marco Metodológico

6.1. Línea Y Sublínea De Investigación

La línea de investigación del programa de ingeniería ambiental y sanitaria corresponde a SOSTENIBILIDAD Y GESTIÓN AMBIENTAL y a la Sub – línea de *Producción más limpia y tecnologías ambientales*.

6.2. Tipo De Investigación

Para este caso, se empleó la investigación descriptiva, que según Rivas (1995) “trata de obtener información acerca del fenómeno o proceso, para describir sus implicaciones” (p.54). Esta investigación busca describir el comportamiento del módulo de elasticidad en función del diseño de mezcla de concreto con proporciones de 5%, 10%, 15% y 20% de RCD.

6.3. Nivel De Investigación

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios) sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes (p.31). Por tanto, para el desarrollo de este estudio el diseño de la investigación fue de campo, porque la información fue recolectada a través de la fuente primaria, que para este caso en el laboratorio V&O ingenierías S.A.S. se desarrolló el diseño de la mezcla de concreto y el ensayo del módulo de elasticidad dinámico y estático.

6.4. Población De Estudio

La población de estudio correspondió a los Residuos de Construcción y demolición dispuestos de forma inadecuada en la cuenca baja de la margen izquierda del río Guatapurí.

6.5. Muestra Poblacional

La muestra corresponde a un bulto de 50 kg de residuos de construcción y demolición dispuestos en la cuenca baja del río.

6.6. Desarrollo Metodológico

A continuación, se presentan las actividades para cada uno de los objetivos planteados:

6.6.1. Etapa 1: Diseño de mezcla de concreto

6.6.1.1. Actividad 1. Selección de materia prima. Los residuos se seleccionaron de los escombros presentes en la orilla izquierda de la cuenca baja del río Guatapurí.

6.6.1.2. Actividad 2. Tratamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD).

Las muestras de RCD se rompieron manualmente para alcanzar un tamaño máximo de 100 mm, luego se saturaron con agua con el fin de contrarrestar los altos índices de absorción que presenta el agregado reciclado, debido a los residuos de cemento adherido que este contiene.

6.6.1.3. Actividad 3. Pasos para el diseño de la mezcla de concreto. Para este estudio, el diseño de mezcla de concreto se realizó mediante la norma A.C.I 211.1 que, a su vez, estuvo basada en la norma ASTM C33, donde se hace referencia a las especificaciones granulométricas. A continuación, se definen los pasos a seguir para la mezcla de concreto:

6.6.1.3.1. Elección de la resistencia promedio (f'_{cr}). La resistencia promedio del concreto a diseñar fue de 3000 PSI.

6.6.1.3.2 Elección de resistencia de diseño. Como para este diseño de mezclas no se contó con la determinación de datos para calcular la desviación estándar, la resistencia de diseño se calculó teniendo en cuenta el valor de la resistencia promedio seleccionado y tomando como referencia la siguiente tabla.

Tabla 2

Resistencia requerida de diseño cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar

Resistencia específica $f'c$ (kg/cm ²)	Resistencia de diseño de la mezcla $f'c$ (kg/cm ²)
Menos de 210	$f'c + 70$
de 210 a 350	$f'c + 85$
Mas de 350	$f'c + 100$

Nota: se muestran ecuaciones para el cálculo de la resistencia de diseño bajo una resistencia determinada, tomado de (Cabarca & Colpas, 2020)

6.6.1.3.3 Elección del asentamiento. Los valores del asentamiento recomendados son los mostrados en la

6.6.1.3.4 Tabla 3 y se usan cuando el método de compactación utilizado es la vibración (para otros métodos se deben sumar 2.5 cm a los valores de la

6.6.1.3.5 Tabla 3 como es el caso en esta investigación).

Tabla 3

Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción

Asentamiento (cm)	Consistencia (tipo de concreto)	Grado de trabajabilidad	Tipo de estructura y condiciones de colocación
0 – 2.0	Muy seco	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibraciones de formaletas
2.0 – 3.5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados con maquina mecánica
3.5 – 5.0	Semi – seca	Pequeño	Construcciones con masas voluminosas, losas medianamente reforzadas con

Asentamiento (cm)	Consistencia (tipo de concreto)	Grado de trabajabilidad	Tipo de estructura y condiciones de colocación
			vibración, fundiciones de concreto simple, pavimentos con vibradores normales
5.0 – 10.0	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas y pavimentos compactados a manos, columnas, vigas, fundiciones y muros con vibración
10.0 – 15.0	Húmeda	Alta	Secciones con mucho refuerzo, trabajos donde la colocación sea difícil, revestimiento en túneles, no recomendable para compactarlo con demasiada vibración

Nota: se muestran los asentamientos y características del tipo de mezcla a ensayar, tomado de (Niño, 2010)

6.6.1.3.6 Elección Tamaño Máximo Nominal (TMN): Se trata de elegir una adecuada granulometría, tener una masa más compacta y con menos vacíos. En la **Tabla 4** muestra los valores recomendados del TMN para los diferentes tipos de construcciones como se muestra a continuación:

Tabla 4

Valores recomendados de TMN según el tipo de construcción

DIMENSIÓN MÍNIMA DEL ELEMENTO (cm)	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL EN MM (PULGADAS)			
	MUROS REFORZADOS, VIGAS Y COLUMNAS	MUROS SIN REFUERZO	LOSAS MUY REFORZADAS	LOSAS SIN REFUERZO O POCO REFORZADAS
6-15	12(1/2") - 19(3/4")	19(3/4")	19(3/4") - 25(1")	19(3/4") - 38(1 1/2")
19-29	19(3/4") - 38(1 1/2")	38(1 1/2")	38(1 1/2") - 76(3")	
30-74	38(1 1/2") - 76(3")	76(3")	38(1 1/2") - 76(3")	76(3")
75 O MAS	38(1 1/2") - 76(3")	152(6")	38(1 1/2") - 76(3")	76(3") - 152(6")

Nota: se muestran las dimensiones del agregado y las especificaciones del tipo de concreto a preparar, tomado de (Niño, 2010)

6.6.1.3.5. Estimación contenido aire. El contenido de aire beneficia la manejabilidad y la cohesión de la mezcla. La

6.6.1.3.6.

6.6.1.3.7. Tabla 5 muestra los valores recomendados para estimar el contenido de aire de la mezcla, teniendo como base las referencias que se especifican en la norma ACI 318 S-08.

Tabla 5

Valores recomendados para el contenido de aire en el concreto para varios grados de exposición.

AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA LOS SIGUIENTES GRADOS DE EXPOSICIÓN		
PULGADAS	mm		SUAVE	MEDIANO	SEVERO
3/8	9,51	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,50	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19,10	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25,40	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38,10	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	5,0
3	76,1	0,3	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

Nota: se muestran los porcentajes de aire que puede ser incluido en la mezcla, tomado de (Niño, 2010)

6.6.1.3.8. Estimación cantidad de agua de mezclado. La demanda de agua en las mezclas se debe a aspectos de manejabilidad, adherencia e hidratación. La **Tabla 6** muestra el requerimiento de agua en la mezcla, que está en función del asentamiento y el TMN.

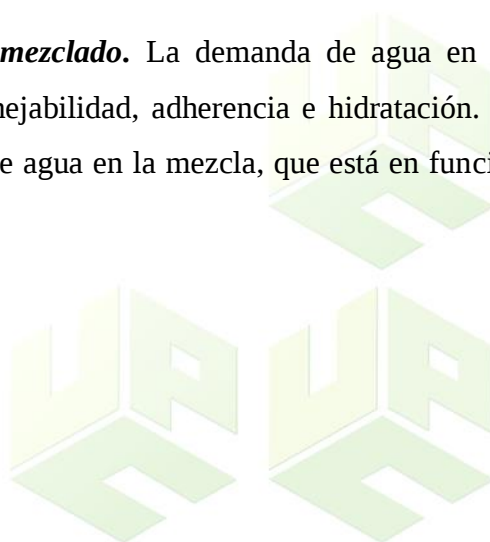


Tabla 6

Requerimientos aproximados de agua de mezclado

Agua en l/m ³ , para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicada.								
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	----
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	----

Nota: se muestran los requerimientos de agua a según el tipo de asentamiento y tamaño máximo nominal del agregado grueso, tomado de (Niño, 2010)

6.6.1.3.9. Elección relación agua/cemento (a/c). Este es el factor más importante en el diseño de mezclas de concreto, porque con él se pueden determinar los requisitos de resistencia, durabilidad, permeabilidad y acabado. Para determinar esta relación se utiliza la **lor de** la resistencia de diseño.

6.6.1.3.10. Tabla 7 teniendo en cuenta el valor de la resistencia de diseño.

Tabla 7

Elección de relación agua/cemento

f'c (Kg/cm ²)	Relación agua/cemento en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	
450	0.38	

Nota: se muestran las relaciones agua/cemento según la resistencia de diseño de la mezcla a preparar, tomado de (Niño, 2010)

6.6.1.3.11. Contenido de cemento. Para el cálculo del cemento se utilizó la que relaciona el agua y la relación agua/cemento (a/c), cuyos valores ya se han calculado en los dos pasos anteriores.

Ecuación 1

Cálculo para determinar el valor de contenido de cemento

$$C = \frac{a}{a/c}$$

Nota: tomado de (Niño, 2010)

6.6.1.3.12. Verificación granulométrica. Esta etapa es utilizada en gran medida para verificar los valores de resistencia en la mezcla de concreto. Para esto se deben seguir los parámetros establecidos por la norma ASTM C33, las cuales se muestran en la **Tabla 8** y **Tabla 9**.



Tabla 8

Recomendaciones granulométricas para agregado grueso, según la norma ASTM C33 (NTC 174)

AGREGADO	TAMAÑO NORMAL (mm)	MATERIAL QUE PASA CADA UNO DE LOS SIGUIENTES TAMICES (PORCENTAJE)												
		101,60 mm 4"	90,50 mm 3 1/2"	76,10 mm 3"	64,00 mm 2 1/2"	50,80 mm 2"	38,10 mm 1 1/2"	25,4 mm 1"	19,0 mm 3/4"	12,70 mm 1/2"	9,51 mm 3/8"	4,76 mm # 4	2,38 mm # 8	1,19 mm # 16
0	90,50 a 38,10	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
1	64,00 a 38,10			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
2	50,80 a 4,76				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5		
3	38,10 a 4,76					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5		
4	25,40 a 4,76						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
5	19,00 a 4,76							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
6	12,70 a 4,76								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
7	9,51 a 2,38									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
8	50,80 a 25,40				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
9	38,10 a 19,00					100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5				

Nota: comparación de agregado grueso 0%RCD + 100% natural; comparación de agregado grueso con 5% - 10% - 15% - 20%RCD, tomado de (Niño, 2010)

Tabla 9

Recomendaciones granulométricas para agregado fino, según la norma ASTM C33 (NTC 174)

TAMIZ		% PASA	
mm	PULGADAS	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
9,51	3/8	100	100
4,76	# 4	95	100
2,38	# 8	80	100
1,19	# 16	50	85
0,595	# 30	25	60
0,297	# 50	10	30
0,149	# 100	2	10

Nota: tomado de (Niño, 2010)

6.6.1.3.13. Volumen de los agregados gruesos y finos. Para determinar el volumen de las partículas de agregado grueso por metro cúbico de agregado grueso, se obtiene con la relación b/b_o que se halló con la **Tabla 10** teniendo en cuenta los valores del módulo de finura y el tamaño máximo nominal; el resultado de esta tabla se multiplicó por la masa unitaria compactada del mismo, como se muestra en la

6.6.1.3.14. Ecuación 2:

Ecuación 2

Cálculo para determinar el valor de la masa del agregado grueso.

$$MAG = \frac{b}{b_o} * Masa Unitaria compactado$$

Nota: tomado de (Niño, 2010)

Tabla 10

Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto (B/BO)

MÁXIMO TAMAÑO NOMINAL DE AGREGADOS		VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO SECADO EN EL HORNO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA DIFERENTES MÓDULOS DE FINURA DE AGREGADO FINO			
		MÓDULO DE FINURA			
PULGADAS	mm	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8	9,51	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2	12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4	19,1	0,66	0,64	0,62	0,60
1	25,4	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2	38,1	0,75	0,73	0,71	0,69
2	50,8	0,78	0,76	0,74	0,72
3	76,1	0,82	0,80	0,78	0,76
6	152,4	0,87	0,85	0,83	0,81

Nota: se muestran el volumen de agregado grueso por unidad de volumen teniendo en cuenta el tamaño máximo y módulo de finura, tomado de (Niño, 2010)

Para obtener el volumen absoluto de cada material se dividió el peso entre su densidad correspondiente de la siguiente manera:

Ecuación 3

Cálculo para determinar el volumen de cada material.

$$Vol(\text{agua} - \text{cemento} - AG) m^3 = \frac{Masa (kg)}{densidad \left(\frac{kg}{m^3} \right)}$$

Nota: tomado de (Niño, 2010)

Teniendo en cuenta el volumen del agregado grueso, cemento, agua y aire, se calculó el volumen del agregado fino (arena) mediante la **Ecuación 4** como se muestra a continuación:

Ecuación 4

Cálculo para determinar el volumen del agregado fino.

$$Vol\ Afino = 1.0\ m^3 - \sum Vol\ (AG - Agua - cemento - aire)$$

Nota: tomado de (Niño, 2010)

En la **Tabla 11** se puede observar que la sumatoria de todos los volúmenes deben ser igual a un metro cubico de concreto.

Tabla 11

Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para 1,00 M3 de concreto

MATERIAL	PESO W (Kg/m ³)	DENSIDAD APARENTE (Kg/m ³)	VOLUMEN V (a ³ /m ³)
Agua	K/w	1000	Vw
Aire	0	0	Va
Cemento	W/c	dc	Vc
Agregado Grueso	Wg	dg	Vg
Agregado Fino	Wf	df	Vf
Total	Wt		1,00 m ³

Nota: tomado de (Niño, 2010)

6.6.2. Etapa 2: Determinación del módulo elasticidad

6.6.2.1. Actividad 1. Cálculo del Módulo de elasticidad estático. El Módulo de elasticidad estático del concreto se determina a través de la prueba estándar de compresión definida

en la "Norma ASTM C469" preparando especímenes cilíndricos de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, los cuales son sometidos a una carga axial incrementada gradualmente hasta que el cilindro del concreto falle. (Rivera, Concreto Simple, 2016). El módulo de elasticidad de acuerdo al ACI se puede tomar como:

Ecuación 5

Cálculo para determinar el módulo de elasticidad estático.

$$E_c = 4270 * w^{1.5} * R_c^{\frac{1}{2}}$$

En donde

RC = Resistencia a la compresión del concreto en kg/cm²

W = Masa unitaria del concreto endurecido (1,4 a 2,5 Ton/m³)

Nota: tomado de (Rivera, 2016)

6.6.2.2. Actividad 2: Cálculo del Módulo de elasticidad dinámico. Para la determinación del módulo de elasticidad dinámico de los cilindros, se realiza mediante el transductor electroacústica donde se generó un impulso de vibración longitudinal; después de recorrer una determinada distancia L, el segundo transductor recibe la señal y, por medio de un circuito electrónico se mide el tiempo de tránsito o de propagación del impulso a través del material (Rivera, Concreto Simple, 2016). El módulo de elasticidad dinámico se puede determinar con el ensayo de velocidad de onda aplicando la siguiente fórmula:

Ecuación 6

Cálculo para determinar el módulo de elasticidad dinámico.

$$E_d = WV^2 * (1 + \mu) * (1 - 2\mu) / (1 - \mu)$$

En donde

Ed = Módulo de elasticidad dinámico en Mpa (1 Mpa = 10 kg/cm²)

W = Masa unitaria del concreto endurecido en kg/m³

V = Velocidad de onda en km/s

μ = Relación de Poisson

Nota: tomado de (Rivera, *Concreto Simple*, 2016)

La relación de Poisson para el concreto debe determinarse por medio del ensayo de cilindros de concreto, realizado de acuerdo con la norma NTC 4025 (ASTM C469). ***En el caso de que no se disponga del valor experimental puede utilizarse un valor de 0,20.***

6.6.3. Etapa 3: Aplicaciones del concreto con los diferentes materiales reciclados

Teniendo en cuenta los resultados del módulo de elasticidad de cada uno de los diseños de mezcla se propondrán sus aplicaciones siguiendo las recomendaciones de la NSR 10 – título C y teniendo en cuenta que este se pueda utilizar como concreto no estructural como pavimentación de entradas a viviendas, construcción de canchas multifuncionales (polideportivos), reconstrucción de fachadas y concreto estructural como losas, trabes, columnas, cimientos, zapatas y muros.

6.7. Diseño Experimental

Para esta investigación el tipo de Diseño experimental escogido fue el completamente al azar en donde la unidad experimental corresponde a los módulos de elasticidad (elástico y dinámico) con 5 tratamientos y 6 repeticiones. Estos tratamientos estudiados correspondieron a:

- Mezcla de concreto con el 0%de residuos de construcción y demolición.
- Mezcla de concreto con el 5%de residuos de construcción y demolición.
- Mezcla de concreto con el 10%de residuos de construcción y demolición.
- Mezcla de concreto con el 15%de residuos de construcción y demolición.
- Mezcla de concreto con el 20% de residuos de construcción y demolición.

Las ventajas de este diseño experimental para la presente investigación son:

1. Flexibilidad: Cualquier número de tratamientos y cualquier número de réplicas pueden ser usadas, siempre y cuando se tengan suficientes UE homogéneas. (Mendoza Rivera, 2021).
2. Análisis Estadístico simple: el análisis estadístico es simple ya sea cuando todos los tratamientos tengan igual número de réplicas (balanceado), diferente número de réplicas (desbalanceado) o pérdida de datos, caso en el cual se trata como un análisis desbalanceado. (Mendoza Rivera, 2021).
3. Máximo número de grados de libertad para el error: Esto ocurre porque el diseño tiene solo dos fuentes de variación que son los tratamientos y el error y los grados de libertad para este error están dados por la expresión $t(r - 1)$. (Mendoza Rivera, 2021).
4. Precisión: Es muy preciso si se tienen en cuenta UE homogéneas. (Mendoza Rivera, 2021).

El modelo matemático que describe este tipo de diseño experimental corresponde:

Ecuación 7

Modelo matemático del diseño experimental completamente al azar

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

y_{ij} = Es la unidad experimental resultante al aplicar el i - ésimo ($i = 1, 2, 3, 4.$) tratamiento en el j - ésimo ($j = 1, 2, 3, 4.$)

μ = Es la media general de la unidad experimental

τ_i = Es el tratamiento i - ésimo definido como la diferencia entre la media del i - ésimo tratamiento y la media global; esto es, $\tau_i = \mu_i - \mu$,

ε_{ij} = Es el error experimental asociado a la j - ésima unidad experimental del i - ésimo tratamiento.

Nota: tomado de (*Mendoza Rivera, 2021*)



7. Resultados Y Análisis

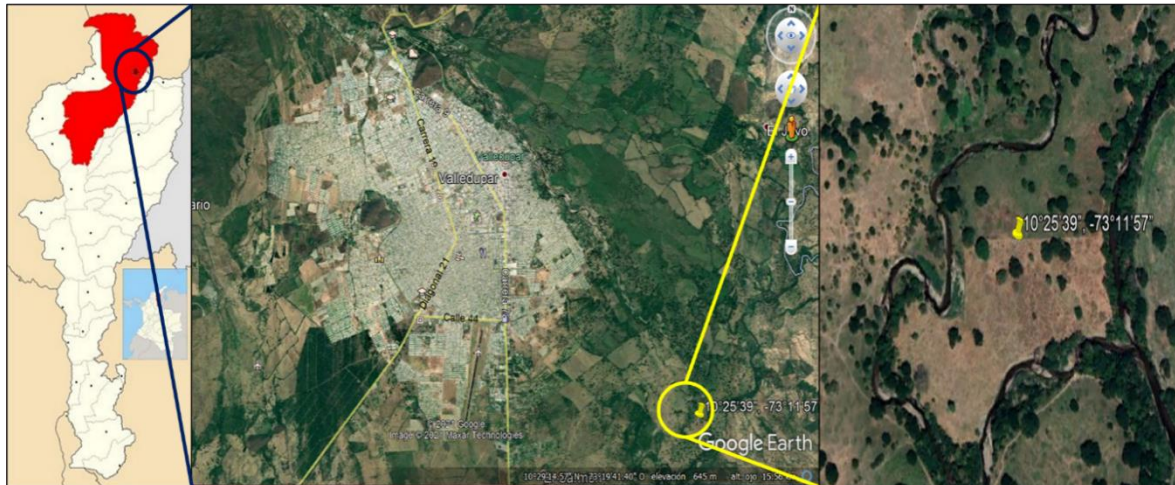
7.1. Etapa 1: Diseño De Mezclas De Concreto Para Distintas Proporciones 0%, 5%, 10%, 15% Y 20% De Residuos De Construcción Y Demolición.

7.1.1. Actividad 1. Selección de materia prima

Para la materia prima correspondiente al agregado grueso se estableció a partir de los residuos de construcción y demolición ubicados en la orilla izquierda de la cuenca baja del río Guatapurí del municipio de Valledupar, en las coordenadas 10°25'39" Norte y 73°11'57" Oeste. En este sitio, se recolectaron como muestra representativa 50 kg de materiales de esta naturaleza.

Ilustración 4.

Ubicación de zona de estudio de selección de RCD - Río Guatapurí



Nota: Tomado de *Google Earth* y adaptado por autores del proyecto, 2021.

7.1.2. Actividad 2. Tratamiento de los residuos de construcción y demolición.

A partir de la selección de los residuos de construcción y demolición (RCD), la muestra representativa fue llevada para ser procesada en el laboratorio de suelos y de concreto V&O ingenierías, ubicado en la Calle 2 No. 8 – 23, urbanización Los Campanos. En el laboratorio, los RCD fueron sometidos a un proceso de trituración primaria y secundaria de manera manual con el fin de disminuir el tamaño de estos agregados buscando que los mismos lleguen a tener un tamaño menor a 1” (25.4 mm).

Ilustración 5.

Proceso de trituración y selección de RCD a tamaño de 1” en V&O ingenierías



Seguidamente, el material RCD triturado y seleccionado fue lavado con el fin de remover cualquier cantidad de agregados finos que estuviera presente debido al procedimiento anterior.



Ilustración 6.

Proceso de lavado de RCD en V&O ingenierías



7.1.3. Actividad 3. Diseño de mezclas del concreto en los porcentajes respectivos.

7.1.3.1. **Ensayos granulométricos de los agregados gruesos en los porcentajes respectivos y los agregados finos.** Para este estudio, se realizó mediante la norma A.C.I 211.1 que, a su vez, está basa en la norma ASTM C33, donde se hace referencia a las especificaciones granulométricas. Este ensayo, consistió en el reemplazo de cierta cantidad de agregado grueso natural con los materiales de RCD procesados anteriormente; en ello, se tomó como muestra representativa 10.000 g de agregado grueso natural para ser combinado con los porcentajes respectivos de RCD de la siguiente manera:

Tabla 12.

Combinaciones de agregado grueso natural con RCD para ensayos respectivos

Porcentaje de combinación	10000 g agregado mezclado
Agregado RCD 0% y Natural 100%	= 0 g RCD + 10000 g Natural
Porcentaje de combinación	10000 g agregado mezclado
Agregado RCD 5% y Natural 95%	= 500 g RCD + 9500 g Natural
Porcentaje de combinación	10000 g agregado mezclado
Agregado RCD 10% y Natural 90%	= 1000 g RCD + 9000 g Natural
Porcentaje de combinación	10000 g agregado mezclado
Agregado RCD 15% y Natural 85%	= 1500 g RCD + 8500 g Natural
Porcentaje de combinación	10000g agregado mezclado
Agregado RCD 20% y Natural 80%	= 2000 g RCD + 8000 g Natural

Ilustración 7

Combinación de agregado grueso natural + RCD



Siguiendo las normas referentes al ensayo de granulometría de agregado grueso según la *NTC 174: Concretos, especificaciones de los agregados para concreto – capítulo 9, características generales del agregado grueso* en aras de verificar el cumplimiento del porcentaje de gradación para cada agregado; para ello, se tomó de la muestra representativa 2000 g de cada agregado en el ensayo respectivo. Estos se presentan a continuación:

7.1.3.1.1. Porcentaje de combinación Agregado RCD 0% y Natural 100%

Tabla 13

Gradación de Agregado RCD 0% y Natural 100% según NTC 174

TAMIZ Pulgadas	TAMIZ Milímetro	PESO. RETE	% Retenido	Porcentaje retenido Acumulado (%)	%PASA	NTC 174	
2 1/2"	64,00	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,80	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,10	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,40	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,00	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100
1/2"	12,70	87,1	6,9	6,9	93,1	90	100
3/8"	9,51	665,7	52,4	59,2	40,8	40	70
No 4	4,76	507,1	39,9	99,2	0,8	0	15
No 8	2,38	1,2	0,1	99,2	0,8	0	5
No 16	1,19	1,0	0,1	99,3	0,7		
No 30	0,595	2,0	0,2	99,5	0,5		
No 50	0,297	2,0	0,2	99,6	0,4		
No 100	0,149	1,8	0,1	99,8	0,2		
No 200	0,075	1,3	0,1	99,9	0,1		

TAMIZ Pulgadas	TAMIZ Milímetro	PESO. RETE	% Retenido	Porcentaje retenido Acumulado (%)	%PASA	NTC 174
FONDO		1,5	0,1	100,0	0,0	
SUMATORIA		1270,7	100,0			

7.1.3.1.2. Porcentaje de combinación Agregado RCD 5% y Natural 95%

Tabla 14

Gradación de Agregado RCD 5% y Natural 95% según NTC 174

TAMIZ Pulgadas	TAMIZ Milímetro	PESO. RETE	% Retenido	Porcentaje retenido Acumulado (%)	%PASA	NTC 174	
2 1/2"	64,00	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,80	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,10	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,40	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100
3/4"	19,00	11,7	0,6	0,6	99,4	90	100
1/2"	12,70	709,4	38,8	39,5	60,5		
3/8"	9,51	474,1	26,0	65,4	34,6	20	55
No 4	4,76	551,6	30,2	95,6	4,4	0	15
No 8	2,38	0,0	0,0	95,6	4,4	0	5
No16	1,19	0,0	0,0	95,6	4,4		
No 30	0,595	0,0	0,0	95,6	4,4		
No 50	0,297	0,0	0,0	95,6	4,4		
No 100	0,149	0,0	0,0	95,6	4,4		
No 200	0,075	0,0	0,0	95,6	4,4		
FONDO		80,1	4,4	100,0	0,0		
SUMATORIA		1826,9	100,0				

7.1.3.1.3. Porcentaje de combinación Agregado RCD 10% y Natural 90%

Tabla 15

Gradación de Agregado RCD 10% y Natural 90% según NTC 174

TAMIZ Pulgadas	TAMIZ Milímetro	PESO. RETE	% Retenido	Porcentaje retenido Acumulado (%)	%PASA	NTC 174	
2 1/2"	64,00	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,80	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,10	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,40	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100
3/4"	19,00	8,1	0,5	0,5	99,5	90	100
1/2"	12,70	791,5	48,2	48,7	51,3		
3/8"	9,51	380,7	23,2	71,9	28,1	20	55
No 4	4,76	430,7	26,2	98,1	1,9	0	15

TAMIZ Pulgadas	TAMIZ Milímetro	PESO. RETE	% Retenido	Porcentaje retenido Acumulado (%)	%PASA	NTC 174	
No 8	2,38	0,0	0,0	98,1	1,9	0	5
No16	1,19	0,0	0,0	98,1	1,9		
No 30	0,595	0,0	0,0	98,1	1,9		
No 50	0,297	0,0	0,0	98,1	1,9		
No 100	0,149	0,0	0,0	98,1	1,9		
No 200	0,075	0,0	0,0	98,1	1,9		
FONDO		31,6	1,9	100,0	0,0		
SUMATORIA		1642,6	100,0				

7.1.3.1.4. Porcentaje de combinación Agregado RCD 15% y Natural 85%

Tabla 16

Gradación de Agregado RCD 15% y Natural 85% según NTC 174

TAMIZ Pulgadas	TAMIZ Milímetro	PESO. RETE	% Retenido	Porcentaje retenido Acumulado (%)	%PASA	NTC 174	
2 1/2"	64,00	0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,80	0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,10	0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,40	0	0,0	0,0	100,0	100	100
3/4"	19,00	10,8	0,7	0,7	99,3	90	100
1/2"	12,70	716,5	47,9	48,7	51,3		
3/8"	9,51	361,5	24,2	72,9	27,1	20	55
No 4	4,76	367,4	24,6	97,4	2,6	0	15
No 8	2,38	0	0,0	97,4	2,6	0	5
No16	1,19	0	0,0	97,4	2,6		
No 30	0,595	0	0,0	97,4	2,6		
No 50	0,297	0	0,0	97,4	2,6		
No 100	0,149	0	0,0	97,4	2,6		
No 200	0,075	0	0,0	97,4	2,6		
FONDO		38,3	2,6	100,0	0,0		
SUMATORIA		1494,5	100,0				

7.1.3.1.5. Porcentaje de combinación Agregado RCD 20% y Natural 80%

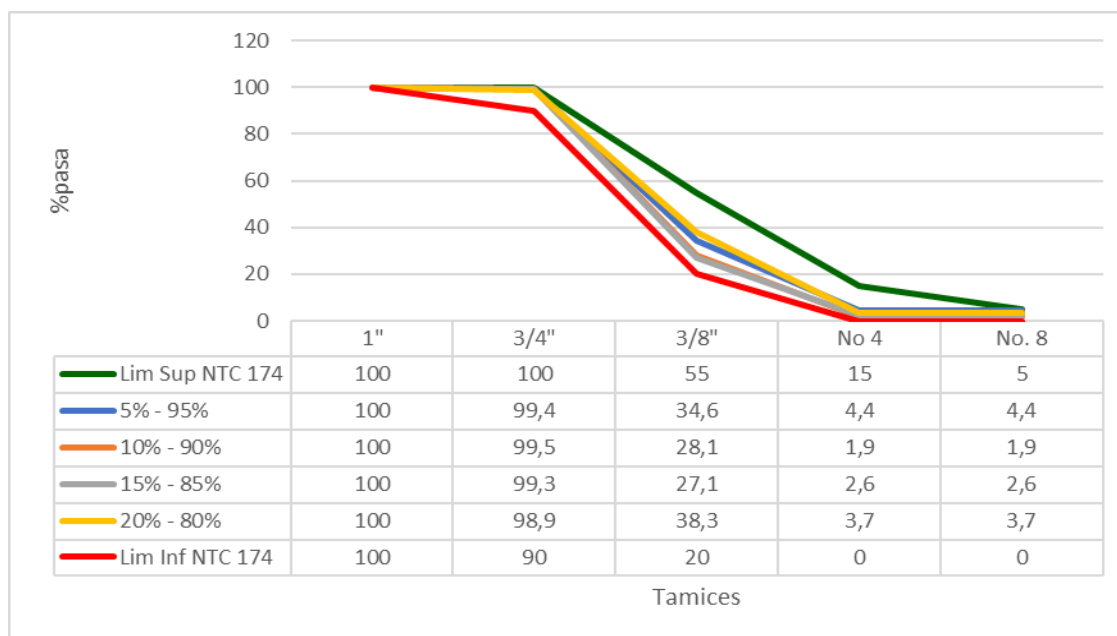
Tabla 17

Gradación de Agregado RCD 20% y Natural 80% según NTC 174

TAMIZ Pulgadas	TAMIZ Milímetro	PESO. RETE	% Retenido	Porcentaje retenido Acumulado (%)	%PASA	NTC 174	
2 1/2"	64,00	0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,80	0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,10	0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,40	0	0,0	0,0	100,0	100	100
3/4"	19,00	15,5	1,1	1,1	98,9	90	100
1/2"	12,70	521,1	35,8	36,9	63,1		
3/8"	9,51	360,3	24,8	61,7	38,3	20	55
No 4	4,76	503,6	34,6	96,3	3,7	0	15
No 8	2,38	0	0,0	96,3	3,7	0	5
No 16	1,19	0	0,0	96,3	3,7		
No 30	0,595	0	0,0	96,3	3,7		
No 50	0,297	0	0,0	96,3	3,7		
No 100	0,149	0	0,0	96,3	3,7		
No 200	0,075	0	0,0	96,3	3,7		
FONDO		53,8	3,7	100,0	0,0		
SUMATORIA		1454,3	100,0				

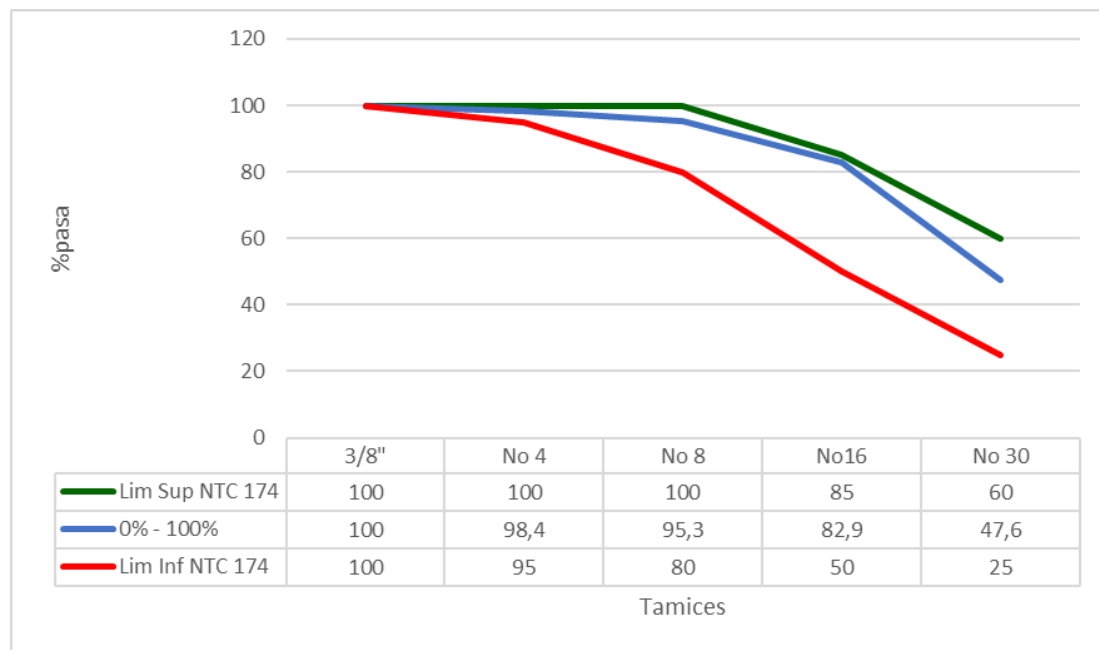
Gráfica 2

Cumplimiento de % pasa de agregado RCD + natural con NTC 174 (5-10-15-20) %.



Gráfica 3

Cumplimiento de % de agregado RCD + natural con NTC 174 (0) %.



Según las interpretaciones de las gráficas anteriores, se puede inferir que; para los porcentajes 5 – 10 – 15 y 20 % de agregado RCD + natural se tuvieron que comparar los porcentajes pasa con referencia al tamiz de 1", mientras que, el porcentaje 0 % de agregado RCD + natural se comparó con el porcentaje pasa con referencia al tamiz ¾". Al analizar los porcentajes de RCD, se evidenció que, todos los ensayos cumplen con la granulometría respectiva, debido a que los %pasa se encuentran dentro de los rangos que se establece en la norma referencia; pero, hay que tener en cuenta que, en la norma técnica NTC 174 no se tiene tabulado el %pasa para el tamiz de ½" debido a que, la mayoría de los agregados gruesos del presente estudio tuvieron el mayor % pasa en los ensayos respectivos, por ende, se descarta en su proceso de ensayo; además para la referenciación del ensayo en la NTC aplicada, se tuvo en cuenta el tamaño máximo nominal de cada uno de los agregados, lo cual resultaron que todos tienen un TMN de ¾". (Ver **Tabla 8**).

Por su parte, tomando en cuenta la norma referencia a ensayo de granulometría de agregado fino según la *NTC 174: Concretos, especificaciones de los agregados para concreto* –

capítulo 6, características generales del agregado fino en aras de verificar el cumplimiento del porcentaje de gradación del mismo; para ello, se tomó de la muestra representativa 1100 g.

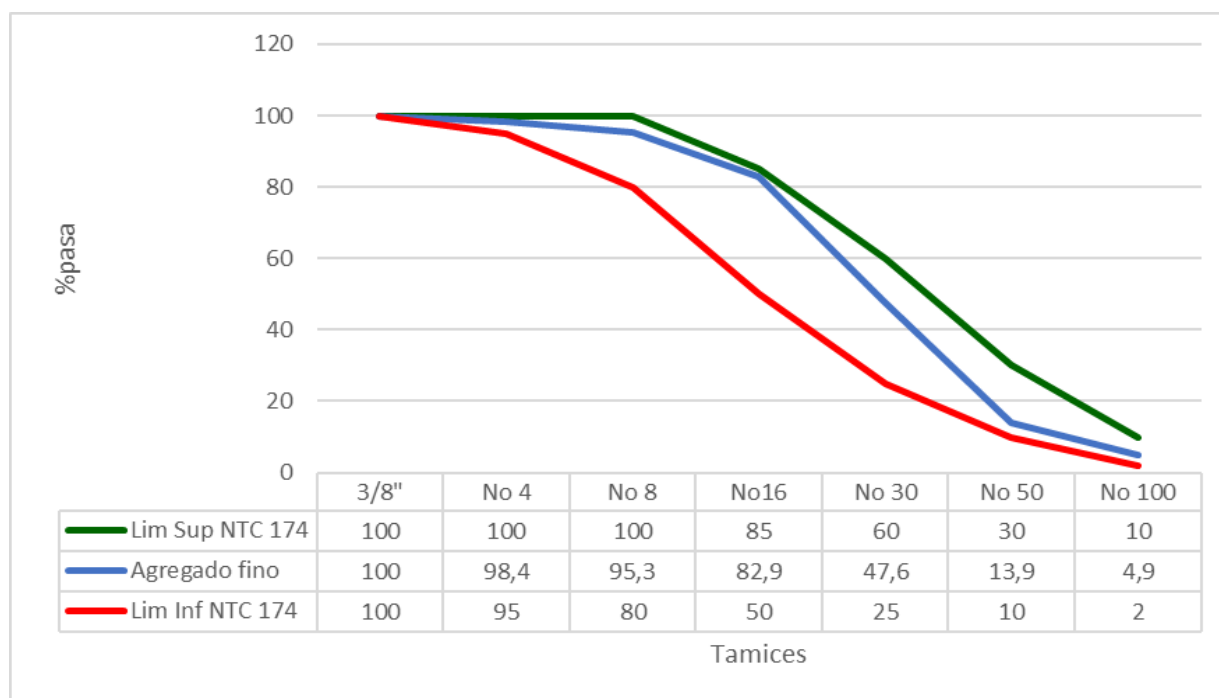
Tabla 18

Gradación de Agregado fino según la NTC 174

TAMIZ Pulgadas	TAMIZ Milímetro	PESO. RETE	% Retenido	Porcentaje retenido Acumulado (%)	%PASA	NTC 174	
1/2"	12,70	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/8"	9,51	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100
No 4	4,76	16,6	1,6	1,6	98,4	95	100
No 8	2,38	32,9	3,1	4,7	95,3	80	100
No16	1,19	131,1	12,4	17,1	82,9	50	85
No 30	0,595	372,4	35,3	52,4	47,6	25	60
No 50	0,297	356,2	33,7	86,1	13,9	10	30
No 100	0,149	94,8	9,0	95,1	4,9	2	10
No 200	0,075	27,3	2,6	97,7	2,3		
FONDO		24,7	2,3	100,0	0,0		
SUMATORIA		1056,0	100,0				

Gráfica 4

Cumplimiento de %pasa de agregado fino con NTC 174.



Con relación a la gráfica anterior, se evidencia que, el agregado fino cumple con los estándares de la norma NTC 174 en cuanto a los porcentajes pasa. Esto quiere decir que, el agregado seleccionado es el idóneo para el diseño de mezclas que se evidenciará más adelante.

Además, a partir de la tabla (ver **Tabla 18**) se calculará el módulo de finura teniendo en cuenta que este se consiste en sumatoria de porcentajes retenidos acumulados divididos entre 100 correspondientes a los siguientes tamices 149 μm (No.100), 297 μm (No.50), 595 μm (No.30), 1,19 mm (No.16), 2,38 mm (No.8), 4,76 mm (No.4), 9,51 mm (3/8"), 19 mm (3/4"), 38,1 mm (1½") y los tamices siguientes cuya abertura está en relación de 1 a 2 (Rivera L, 2016). El cual se presenta a continuación:

Ecuación 8.

Cálculo de módulo de finura para el agregado grueso 0% RCD – 100% natural

$$\text{MODULO FINURA} = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado}}{100}$$

$$\mathbf{MF = 2.57}$$

$$\text{MODULO FINURA} = \frac{97.9 + 82.9 + 47.6 + 23.9 + 4.9}{100}$$

$$\mathbf{MF = 2.6}$$

Nota: tomado de (Rivera L, 2016)

7.1.3.2. Ensayos de propiedades físicas de los agregados gruesos en sus respectivos porcentajes y agregados finos. Se procedió a la caracterización de las propiedades físicas como el peso unitario suelto y compactado, porcentaje de absorción, peso específico aparente seco, peso específico aparente saturado, peso específico nominal, siguiendo los lineamientos establecidos en la NTC 92; *Ingeniería civil y arquitectura. Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados, NTC 176; Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso y la NTC 237; Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.* Se aclara que, para determinar el peso unitario de cada agregado, se tuvo de calcular el volumen del cilindro usado para el presente estudio, el cual se determinó de la siguiente manera:

Tabla 19

Determinación de Volumen del cilindro utilizado para los ensayos

DIAMETRO	ALTURA
$D = 0,15 \text{ m}$	$H = 0,308 \text{ m}$
Volumen cilindro	
$V_c = \frac{\pi * H * D^2}{4}$	$V_c = 5,301 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ $V_c = 5442 \text{ cm}^3$
$V_c = \frac{\pi(0,308 \text{ m})(0,15 \text{ m})^2}{4}$	Nota: el volumen del cilindro puede ser variable para cada caso.

Para agregado grueso en sus porcentajes de combinación: Para los ensayos, se requirieron de 8500 g de agregados gruesos.

7.1.3.2.1. Porcentaje de combinación Agregado RCD 0% y Natural 100%

Tabla 20

Masa Unitaria suelta y compacta de agregado RCD 0% y natural 100% según NTC 92

Muestra	Peso muestra Compacta(g)	Peso muestra Suelta (g)	Peso unitario Compacto (g/cm ³)	Peso unitario Suelto (g/cm ³)
1	8.274	7.565	1.529	1.399
2	8.297	7.559	1.534	1.397
3	8.299	7.583	1.535	1.402
		Promedio	1.533	1.399

Tabla 21

Propiedades físicas de agregado RCD 0% y natural 100% según NTC 176

Ensayo	Valor
Peso muestra seca g. (A)	1136,8
Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca g. (B)	1160,4
Peso sumergido en agua de la muestra saturada g. (C)	717,5
Peso Específico Aparente	2,567 gr/cm ³
Peso Específico Aparente (SSS)	2,620 gr/cm ³
Peso específico nominal	2,711 gr/cm ³
% Absorción	2,08

7.1.3.2.2. Porcentaje de combinación Agregado RCD 5% y Natural 95%

Tabla 22

Masa Unitaria suelta y compacta de agregado RCD 5% y natural 95% según NTC 92

Muestra	Peso muestra Compacta(g)	Peso muestra Suelta (g)	Peso unitario Compacto (g/cm ³)	Peso unitario Suelto (g/cm ³)
1	7331	6767	1.346	1.243
2	7293	6783	1.339	1.246
3	7343	6779	1.348	1.245
		Promedio	1.344	1.244

Tabla 23

Propiedades físicas de agregado RCD 5% y natural 95% según NTC 176

Ensayo	Valor
Peso muestra seca g. (A)	975.0
Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca g. (B)	997.0
Peso sumergido en agua de la muestra saturada g. (C)	398.5
Peso Específico Aparente	1.629 gr/cm ³
Peso Específico Aparente (SSS)	1.666 gr/cm ³
Peso específico nominal	1.691 gr/cm ³
% Absorción	2.26

7.1.3.2.3. Porcentaje de combinación Agregado RCD 10% y Natural 90%

Tabla 24

Masa Unitaria suelta y compacta de agregado RCD 10% y natural 90% según NTC 92

Muestra	Peso muestra Compacta(g)	Peso muestra Suelta (g)	Peso unitario Compacto (g/cm ³)	Peso unitario Suelto (g/cm ³)
1	7126	6418	1.309	1.178
2	7131	6509	1.309	1.195
3	7143	6487	1.312	1.191
		Promedio	1.31	1.188

Tabla 25

Propiedades físicas de agregado RCD 10% y natural 90% según NTC 176

Ensayo	Valor
Peso muestra seca g. (A)	1170.5
Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca g. (B)	1195.8
Peso sumergido en agua de la muestra saturada g. (C)	513.5
Peso Específico Aparente	1.716 gr/cm ³
Peso Específico Aparente (SSS)	1.753 gr/cm ³
Peso específico nominal	1.782 gr/cm ³
% Absorción	2.16

7.1.3.2.4. Porcentaje de combinación Agregado RCD 15% y Natural 85%

Tabla 26

Masa Unitaria suelta y compacta de agregado RCD 15% y natural 85% según NTC 92

Muestra	Peso muestra Compacta(g)	Peso muestra Suelta (g)	Peso unitario Compacto (g/cm³)	Peso unitario Suelto (g/cm³)
1	7076	6464	1.299	1.187
2	7070	6469	1.298	1.188
3	7067	6474	1.298	1.189
	Promedio		1.298	1.188

Tabla 27

Propiedades físicas de agregado RCD 15% y natural 85% según NTC 176

Ensayo	Valor
Peso muestra seca g. (A)	1290.4
Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca g. (B)	1315.5
Peso sumergido en agua de la muestra saturada g. (C)	589.5
Peso Específico Aparente	1.777 gr/cm ³
Peso Específico Aparente (SSS)	1.812 gr/cm ³
Peso específico nominal	1.841 gr/cm ³
% Absorción	1.95

7.1.3.2.5. Porcentaje de combinación Agregado RCD 20% y Natural 80%

Tabla 28

Masa Unitaria suelta y compacta de agregado RCD 20% y natural 80% según NTC 92

Muestra	Peso muestra Compacta(g)	Peso muestra Suelta (g)	Peso unitario Compacto (g/cm ³)	Peso unitario Suelto (g/cm ³)
1	7076	6238	1.299	1.145
2	7037	6233	1.292	1.144
3	7041	6231	1.293	1.144
Promedio			1.294	1.144

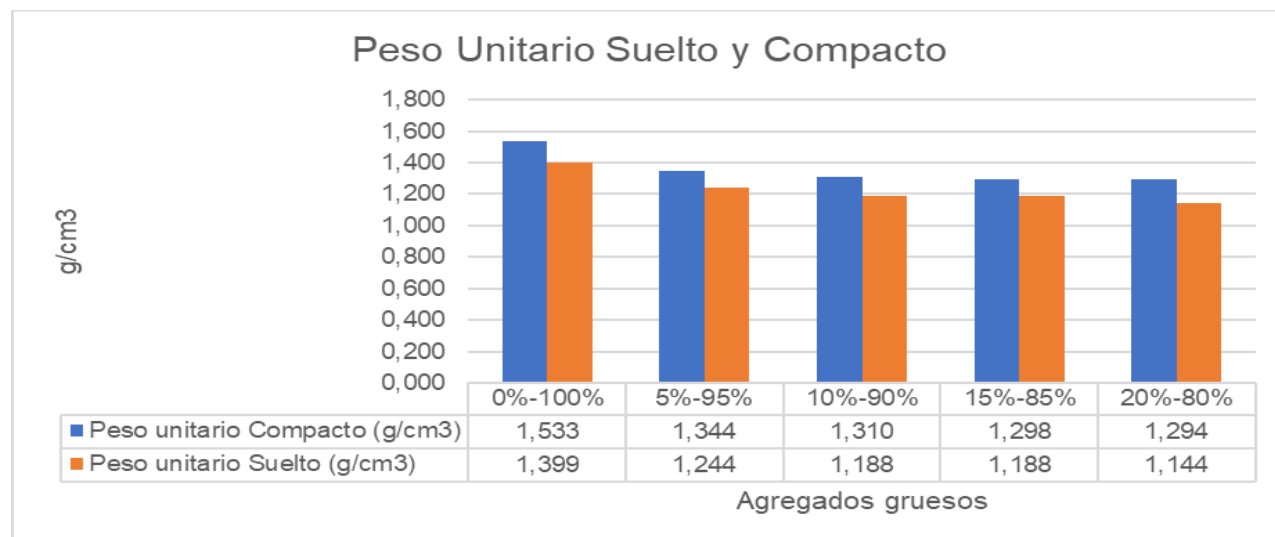
Tabla 29

Propiedades físicas de agregado RCD 20% y natural 80% según NTC 176

Ensayo	Valor
Peso muestra seca g. (A)	1431.9
Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca g. (B)	1476.0
Peso sumergido en agua de la muestra saturada g. (C)	675.3
Peso Específico Aparente	1.788 gr/cm ³
Peso Específico Aparente (SSS)	1.843 gr/cm ³
Peso específico nominal	1.893 gr/cm ³
% Absorción	3.08

Gráfica 5

Comparación de pesos unitarios compacto y suelto de los agregados gruesos.

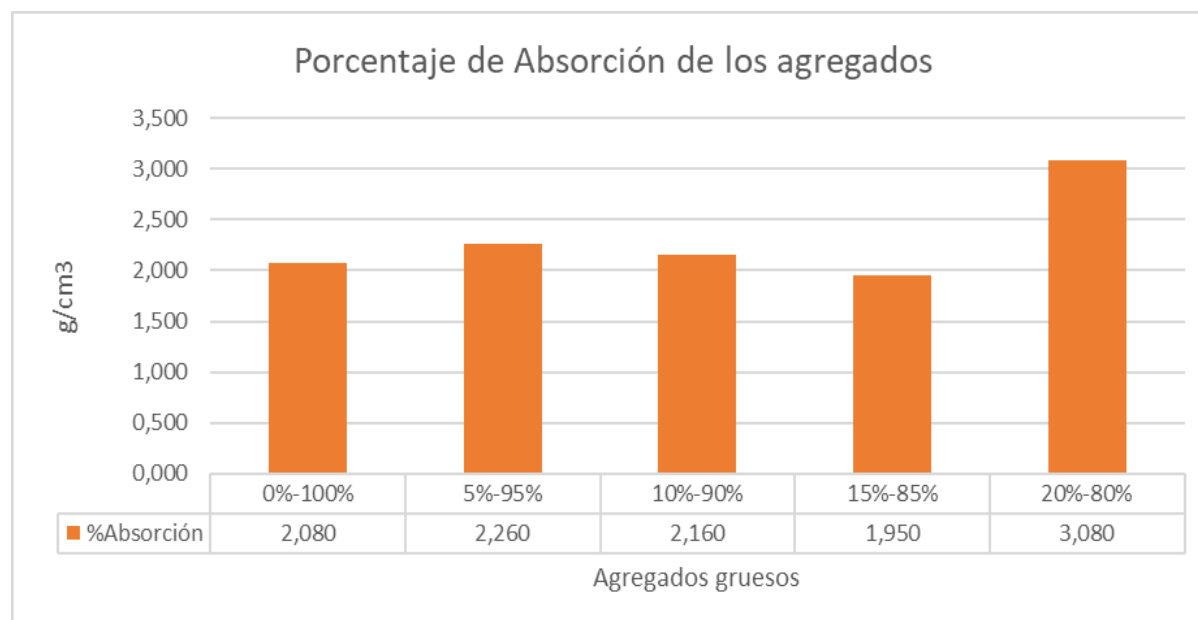


Según los resultados correspondientes a los pesos unitarios compactos, se infieren que, estuvieron comprendidos entre los 1,290 y 1,540 g/cm³, en donde se evidenció que, el agregado con 0% RCD – 100% natural tiene mayor valor con respecto a los demás. Sin embargo, los agregados con combinaciones de RCD mantuvieron los valores similares entre 1,294 y 1,350 g/cm³ por lo que sus diferencias no son tan apreciables. Esto demostraría que tendrán un comportamiento similar al momento de realizar los ensayos de dosificación de concreto.

Por su parte, en los pesos unitarios sueltos se evidenciaron que, estuvieron comprendidos entre los 1,1 y 1,4 g/cm³ en donde, el agregado con 0% RCD – 100% natural representa un valor significativamente alto con relación a los agregados restantes. Además, al compararse entre los agregados combinados con RCD se analizó que, el agregado con 20% RCD – 80% natural es el valor más bajo; lo cual se podría inferir que, a medida en que se aumenta el porcentaje de RCD disminuirá el peso unitario suelto por su disposición de partículas entre los espacios del cilindro, lo cual, podrían ser significativos al momento de realizar el diseño de mezclas.

Gráfica 6

Porcentaje de absorción de los agregados gruesos.



Según la gráfica, se puede interpretar que, el agregado grueso que tiene mayor porcentaje de absorción es el que corresponde al agregado con 20% RCD – 80% natural. Esto se debe más a que, los RCD son el resultado de la desintegración de aquellas infraestructuras realizadas en concreto, en donde contienen espacios entre ellas y que, en combinación con el cemento y demás agregados que lo conformaron, ayudan a que absorban una mayor cantidad de agua por los poros que posee; lo cual, se podría analizar que, a medida que se incrementa el porcentaje de RCD, aumentaría significativamente su absorción, esto permitirá analizar el grado de curación que tendrá la mezcla y, por ende, su resistencia.

7.1.3.2.6. Para agregado fino. Para los ensayos, se requirieron de 11000 g de agregado.

Tabla 30

Masa Unitaria suelta y compacta de agregado fino según NTC 92

Muestra	Peso muestra Compacta(g)	Peso muestra Suelta (g)	Peso unitario Compacto (g/cm³)	Peso unitario Suelto (g/cm³)
1	10876	10284	2.011	1.901
2	10856	10309	2.007	1.906
3	10904	10294.3	2.016	1.903
		Promedio	2.011	1.903

Tabla 31

Propiedades físicas de agregado fino según NTC 237

Ensayo	Valor
Peso en el aire, Muestra seca g. (A)	490.4
Peso del picnómetro aforado lleno de agua g. (B)	710.3
Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua g. (C)	1016.9
Peso de la muestra saturada (S)	500.0
Peso Específico Aparente	2,536 gr /cm ³
Peso Específico Aparentemente (SSS)	2,585 gr/cm ³
Peso específico nominal	2,668 gr/cm ³
% Absorción	1.96

7.1.3.3. Elaboración de diseño de mezclas de concreto con los porcentajes de combinación respectivos. A partir de los ensayos de granulometría y de las propiedades físicas de los agregados tanto gruesos con sus combinaciones de RCD y los agregados finos; se procedió a realizar el diseño de mezclas utilizando la metodología ACI del comité 211.1, en base a los parámetros idóneos para su diseño.

7.1.3.3.1. Para agregado grueso 0% RCD – 100% natural:

Tabla 32

Parámetros previos para el diseño de mezclas para el agregado grueso 0% RCD – 100% natural

PARÁMETRO	VALOR	REFERENCIA
Resistencia a compresión	3000 psi – 21 MPa – 210 kg/cm ²	Ver (6.6.1.3)
Condición de exposición	Normal	NO APLICA
Tamaño máximo nominal (TMN)	1/2"	Ver <u>Tabla 13</u>
Módulo de finura	2.6, ligeramente fino	Ver <u>Ecuación 8</u>
Peso unitario compacto	1,533 g/cm ³ = 1533 kg/m ³	Ver <u>Tabla 20</u>
Peso unitario suelto	1,399 g/cm ³ = 1399 kg/m ³	Ver <u>Tabla 21</u>
%Absorción del agregado grueso	2,08	
Densidad agregado grueso	2,567 gr/cm ³ = 2567 kg/m ³	
%Humedad agregado grueso	0,83	
Densidad del agua	1 gr/cm ³ = 1000 kg/m ³	NO APLICA
Densidad del cemento	3,10 gr/cm ³ = 3100 kg/m ³	NO APLICA
Densidad del agregado fino	2,536 gr/cm ³ = 2536 kg/m ³	Ver <u>Tabla 31</u>
%Absorción del agregado fino	1,96	
%Humedad agregado fino	1,15	
Contenido de aire:	2,5% tomando en consideración el TMN	Ver <u>Tabla 5</u>
Días de curado	28 días	NO APLICA
Asentamiento	10 cm o 3,93"; medio para lozas medianamente reforzadas y pavimentos.	Ver <u>Tabla 3</u>
Estimación de contenido de agua	216 kg/m ³ ; tomando en consideración el asentamiento y TMN	Ver <u>Tabla 6</u>

- **Determinación de resistencia de diseño**

Teniendo en cuenta el valor de la resistencia a compresión (ver

Tabla 32) escogido para el diseño de mezclas y que no se tiene registro de pruebas para determinar la desviación estándar; se calcula el valor de la resistencia de diseño a partir de la ecuación que se estipula en la **Tabla 2**.

Ecuación 9

Cálculo de resistencia de diseño con base a la resistencia a compresión agregado grueso 0% RCD – 100% natural

$$\frac{F'_c + 85}{210 \text{ kg/cm}^2 + 85 \text{ kg/cm}^2}$$

$$F_m = 295 \text{ kg/cm}^2$$

Nota: tomado de (Cabarca & Colpas, 2020)

- **Selección de relación agua – cemento**

Teniendo en cuenta el valor de los días de curado (ver

Tabla 32), de la resistencia de diseño (ver **Ecuación 9**) y que el concreto no contiene aire incluido, se procede a calcular la relación agua – cemento teniendo en cuenta la

Tabla 7.



Como en la tabla referente se establece una serie de valores de resistencia de diseño (F'_{cr}), se escogió un rango en el que cubre el valor calculado (ver **Ecuación 9**), el cual se encuentra comprendido entre 250 y 300 Kg/cm². Ante la situación, se calcula el valor de dicha relación mediante interpolación:

Tabla 33

Calculo para determinar la relación agua – cemento para el agregado grueso 0% RCD – 100% natural

$F'_{cr} \left(\frac{Kg}{Cm^2} \right)$	Relación agua – cemento para el concreto sin aire incorporado	Interpolación	Resultado
250	0,62	$\frac{300 - 295}{0,55 - x} = \frac{300 - 250}{0,55 - 0,62}$	$x = 0,557$
295	X		
300	0,55		

- **Contenido de cemento**

Al tener la relación de agua – cemento (ver

Tabla 33) y la cantidad de agua (ver

Tabla 32) para la preparación de concreto; entonces se determina la cantidad de cemento así:

Ecuación 10

Cálculo de contenido de cemento para el agregado grueso 0% RCD – 100% natural

$$C = \frac{A}{A/C}$$

$$C = 387,79 \text{ kg/m}^3$$

$$C = \frac{216 \text{ kg/m}^3}{0,557}$$

Nota: tomado de (Rivera L, 2016)

- **Determinación de volumen de agregado grueso y fino a utilizar**

Para determinar el volumen del agregado grueso a utilizar, se basa en la relación **b/b_o** a partir de la **Tabla 10** que fue multiplicada por la masa unitaria compactada del mismo. Este parámetro está vinculado con el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura de la arena (ver

Tabla 32).

Ecuación 11



Cálculo de masa de agregado grueso 0% RCD – 100% natural

$$\frac{b}{b_o} = 0,57 \text{ m}^3$$

Tabla 10

$$MAG = \frac{b}{b_o} * \text{Peso Unitario compactado}$$

$$\text{Peso unitario compacto} = \frac{1533 \text{ kg}}{\text{m}^3}$$

$$MAG = 0,57 \text{ m}^3 * \frac{1533 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 873,81 \text{ Kg}$$

Ver

Tabla 32

$$MAG = 873,81 \text{ Kg}$$

Nota: tomado de (Rivera L, 2016)

Al tener el valor de la cantidad másica del agregado grueso, se procede a calcular los volúmenes de los materiales necesarios para preparar 1 m³ de concreto. Para ello se tiene en cuenta las densidades de estos materiales reflejados en la

Tabla 32. Esto es:

Tabla 34

Calculo para determinar volúmenes de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 0% RCD – 100% natural

Cemento	Aire	Agregado fino
$\forall C = \frac{387,79 \text{ Kg}}{3100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$	$\forall \text{Aire} = \frac{2,5\%}{100\%}$	$\forall \text{AF} = 1 \text{ m}^3 - \sum \forall$
$\forall C = 0,125 \text{ m}^3$	$\forall \text{Aire} = 0,025 \text{ m}^3$	$\forall \text{AF} = 1 \text{ m}^3 - \sum (0,125 + 0,216 + 0,025 + 0,34) \text{ m}^3$
		$\forall \text{AF} = 0,29 \text{ m}^3$
Agua	Agregado grueso	
$\forall \text{Ag} = \frac{216 \text{ Kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$	$\forall \text{AG} = \frac{873,81 \text{ Kg}}{2567 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$	
$\forall \text{Ag} = 0,216 \text{ m}^3$	$\forall \text{AG} = 0,34 \text{ m}^3$	

Al tener los valores correspondientes a la cantidad de volumen de cada material (ver **Tabla 34**) y con las densidades de los mismos (ver

Tabla 32), se determinó la cantidad másica de cada uno de los materiales, los cuales se presentan a continuación.

Tabla 35

Cantidad másica de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 0% RCD – 100% natural

MATERIALES	PESO kg	DENSIDAD kg/m ³	VOLUMEN m ³
Tabla 32			
AGUA	216	1000	0,216
CEMENTO	387,79	3100	0,125
A. GRUESO	873,81	2567	0,34
FINO	735,44	2536	0,29
AIRE	----	----	0,025
TOTAL	2213,04	----	1 m ³

Nota: los valores en rojo, son datos calculados a partir de datos conocidos anteriormente

- Correcciones por humedad**

Los datos presentados en la **Tabla 35** son cantidades de masa sin tenerse en cuenta el contenido de humedad que puede disponerse tanto en los agregados finos como gruesos. Por consiguiente, se debió de corregir teniendo en cuenta los valores del contenido de humedad y porcentaje de absorción (ver

Tabla 32). Los cálculos se presentan a continuación:

Tabla 36

Correcciones de humedad para concreto en agregado grueso 0% RCD – 100% natural

Contenido de humedad		Porcentaje de absorción
Agregado grueso	$MAG'c = \text{Peso seco} * \left(\frac{H. N\%}{100} + 1 \right)$	$ABsg = \frac{(\%H. N - \%ABS) * \text{PESO SECO}}{100}$
	$MAG'c = 873,81 \text{ kg} * \left(\frac{0,83\%}{100} + 1 \right)$	$ABsg = \frac{(0,83\% - 2,08\%) * 873,81 \text{ kg}}{100}$
	MAG'c = 881,06 kg	
Agregado fino	$MAF'c = \text{Peso seco} * \left(\frac{H. N\%}{100} + 1 \right)$	$ABsf = \frac{(\%H. N - \%ABS) * \text{PESO SECO}}{100}$
		APg = -10,92 kg

Contenido de humedad	Porcentaje de absorción
$MAF'c = 735,44 \text{ kg} * \left(\frac{1,15\%}{100} + 1 \right)$	$ABsf = \frac{(1,15\% - 1,96\%) * 735,44 \text{ kg}}{100}$
MAF'c = 743,89 kg	ABsf = -5,95 kg

Se establecen las respectivas correcciones de los contenidos máscicos de cada material a utilizar para este tipo de agregado grueso. Este se presenta en la siguiente tabla

Tabla 37

Cantidad máscica de materiales con corrección de humedad y proporciones para la dosificación de concreto en agregado grueso 0% RCD – 100% natural.

MATERIALES	PESO kg	Aporte de agua total, kg Tabla 36	PESO CORREGIDO kg	PROPORCIONES DEL DISEÑO
AGUA	216	AP = ABsg + ABsf -16,87 kg	216 – AP 216 – (-16,87) 232,87	-
CEMENTO	387,79	-	387,79	$\frac{C}{C} = \frac{387,79}{387,79} = 1$
FINO	735,44	-	743,89	$\frac{AF}{C} = \frac{743,89}{387,79} = 1,92$
A. GRUESO	873,81	-	881,06	$\frac{AG}{C} = \frac{881,06}{387,79} = 2,27$
AIRE	----			
TOTAL	2213,04	-	2245,61	1:1,92:2,27

7.1.3.3.2. Para agregado grueso 5% RCD – 95% natural:

Tabla 38

Parámetros previos para el diseño de mezclas para el agregado grueso 5% RCD – 95% natural

PARÁMETRO	VALOR	REFERENCIA
Resistencia a compresión	3000 psi – 21 MPa – 210 kg/cm ²	Ver (6.6.1.3)
Condición de exposición	Normal	NO APLICA
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/4"	Ver Tabla 14
Módulo de finura	2,6, ligeramente fino	Ver Ecuación 8

PARÁMETRO	VALOR	REFERENCIA
Peso unitario compacto	1,344 g/cm ³ = 1344 kg/m ³	Ver <u>Tabla 22</u>
Peso unitario suelto	1.244 g/cm ³ = 1244 kg/m ³	
%Absorción del agregado grueso	2,26	Ver <u>Tabla 23</u>
Densidad agregado grueso	1,629 gr/cm ³ = 1629 kg/m ³	
%Humedad agregado grueso	0,42	
Densidad del agua	1 gr/cm ³ = 1000 kg/m ³	NO APLICA
Densidad del cemento	3,10 gr/cm ³ = 3100 kg/m ³	NO APLICA
Densidad del agregado fino	2,536 gr/cm ³ = 2536 kg/m ³	Ver Tabla 31
%Absorción del agregado fino	1,96	
%Humedad agregado fino	1,15	
Contenido de aire:	2,0% tomando en consideración el TMN	Ver
Días de curado	28 días	Tabla 5
Asentamiento	10 cm o 3,93"; medio para losas medianamente reforzadas y pavimentos.	NO APLICA
Estimación de contenido de agua	205 kg/m ³ ; tomando en consideración el asentamiento y TMN	Ver
Resistencia de diseño	295 kg/cm ²	Ver Ecuación 9, se aclara que al tener el mismo valor de resistencia a compresión entonces el valor es igual para todos
Relación agua – cemento	0,557; tomando en consideración la resistencia de diseño	Ver

Tabla 33; se aclara que, al tener el mismo valor de resistencia de diseño, entonces la relación agua – cemento es igual en todos

- **Contenido de cemento**

Al tener la relación de agua – cemento y la cantidad de agua (ver

Tabla 38) para la preparación de concreto; entonces se determina la cantidad de cemento así:

Ecuación 12

Cálculo de contenido de cemento para el agregado grueso 5% RCD – 95% natural

$$C = \frac{A}{A/C}$$

$$C = \frac{205 \text{ kg/m}^3}{0,557}$$

$$C = 368,04 \text{ kg/m}^3$$

Nota: tomado de (Rivera L, 2016)

- **Determinación de volumen de agregado grueso y fino a utilizar**

Para determinar el volumen del agregado grueso a utilizar, se basa en la relación **b/b_o** a partir de la **Tabla 10** que fue multiplicada por la masa unitaria compactada del mismo. Este parámetro está vinculado con el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura de la arena (ver

Tabla 38).

Ecuación 13

Cálculo de masa de agregado grueso 5% RCD – 95% natural

$$b/b_o = 0,64 \text{ m}^3$$

Tabla 10

$$\text{Peso unitario compacto} = \frac{1344 \text{ kg}}{\text{m}^3}$$

Ver

$$\text{MAG} = \frac{b}{b_o} * \text{Peso Unitario compactado}$$

$$\text{MAG} = 0,64 \text{ m}^3 * \frac{1344 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 860,16 \text{ Kg}$$

$$\text{MAG} = 860,16 \text{ Kg}$$

Tabla 38

Nota: tomado de (Rivera L, 2016)

Al tener el valor de la cantidad másica del agregado grueso, se procede a calcular los volúmenes de los materiales necesarios para preparar 1 m³ de concreto. Para ello se tiene en cuenta las densidades de estos materiales reflejados en la

Tabla 38. Esto es:

Tabla 39

Calculo para determinar volúmenes de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 5% RCD – 95% natural.

Cemento	Aire	Agregado fino
$\forall C = \frac{368,04 \text{ Kg}}{3100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$	$\forall \text{Aire} = \frac{2,0\%}{100\%}$	$\forall \text{AF} = 1 \text{ m}^3 - \sum \forall$
$\forall C = 0,119 \text{ m}^3$	$\forall \text{Aire} = 0,020 \text{ m}^3$	$\forall \text{AF} = 1 \text{ m}^3 - \sum (0,119 + 0,205 + 0,020 + 0,53) \text{ m}^3$
		$\forall \text{AF} = 0,13 \text{ m}^3$
Agua	Agregado grueso	
$\forall \text{Ag} = \frac{205 \text{ Kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$	$\forall \text{AG} = \frac{860,16 \text{ Kg}}{1629 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$	
$\forall \text{Ag} = 0,205 \text{ m}^3$	$\forall \text{AG} = 0,53 \text{ m}^3$	

Al tener los valores correspondientes a la cantidad de volumen de cada material (ver **Tabla 39**) y con las densidades de los mismos (ver

Tabla 38), se determinó la cantidad másica de cada uno de los materiales:

Tabla 40

Cantidad másica de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 5% RCD – 95% natural

MATERIALES	PESO kg	DENSIDAD kg/m ³ Tabla 38	VOLUMEN m ³ Tabla 39
AGUA	205	1000	0,205
CEMENTO	368,04	3100	0,114
A. GRUESO	860,16	1629	0,53
FINO	329,68	2536	0,13
AIRE	----	----	0,02
TOTAL	1762,88	----	1 m ³

Nota: los valores en rojo, son datos calculados a partir de datos conocidos anteriormente

- **Correcciones por humedad**

Los datos presentados en la **Tabla 40** son cantidades de masa sin tenerse en cuenta el contenido de humedad que puede disponerse tanto en los agregados finos como gruesos. Por consiguiente, se debió de corregir teniendo en cuenta los valores del contenido de humedad y porcentaje de absorción (ver

Tabla 38). Los cálculos se presentan a continuación:

Tabla 41

Correcciones de humedad para concreto en agregado grueso 5% RCD – 95% natural

	Contenido de humedad	Porcentaje de absorción
Agregado grueso	MAG'c = Peso seco	ABsg
	$\ast \left(\frac{H.N\%}{100} + 1 \right)$	$= \frac{(\%H.N - \%ABS) \ast PESO SECO}{100}$
	MAG'c = 860,16 kg	ABsg
	$\ast \left(\frac{0,42}{100} + 1 \right)$	$= \frac{(0,42\% - 2,26\%) \ast 860,16 Kg}{100}$
Agregado fino	MAG'c = 863,77 kg	APg = -15,8 kg
	MAF'c = Peso seco	ABsf
	$\ast \left(\frac{H.N\%}{100} + 1 \right)$	$= \frac{(\%H.N - \%ABS) \ast PESO SECO}{100}$
	MAF'c = 329,68 kg	ABsf
	$\ast \left(\frac{1,15}{100} + 1 \right)$	$= \frac{(1,15\% - 1,96\%) \ast 329,68 Kg}{100}$
	MAF'c = 333,4 kg	ABsf = -2,6 kg

Se establecen las respectivas correcciones de los contenidos masicos de cada material a utilizar para este tipo de agregado grueso. Este se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 42

Cantidad másica de materiales con corrección de humedad y proporciones para la dosificación de concreto en agregado grueso 5% RCD – 95% natural

MATERIALES	PESO kg	Aporte de agua total, kg Tabla 41	PESO CORREGIDO kg	PROPORCIONES DEL DISEÑO
AGUA	205	AP = ABsg + ABSf -18,4 kg	205 – AP 205 – (–16,87) 223,4	-
CEMENTO	368,04	-	368,04	$\frac{C}{C} = \frac{368,04}{368,04} = 1$
A. FINO	329,68	-	333,4	$\frac{AF}{C} = \frac{333,4}{368,04} = 0,91$
A. GRUESO	860,16	-	863,77	$\frac{AG}{C} = \frac{863,77}{368,04} = 2,34$
AIRE	----			-
TOTAL	1762,88	-	1788,61	1:0,91:2,34

7.1.3.3.3. Para agregado grueso 10% RCD – 90% natural:

Tabla 43

Parámetros previos para el diseño de mezclas para el agregado grueso 10% RCD – 90% natural

PARÁMETRO	VALOR	REFERENCIA
Resistencia a compresión	3000 psi – 21 MPa – 210 kg/cm ²	Ver (6.6.1.3)
Condición de exposición	Normal	NO APLICA
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/4"	Ver Tabla 15
Módulo de finura	2.6, ligeramente fino	Ver Ecuación 8
Peso unitario compacto	1,31 g/cm ³ = 13100 kg/m ³	Ver Tabla 24
Peso unitario suelto	1,188 g/cm ³ = 1188 kg/m ³	
%Absorción del agregado grueso	2,16	Ver Tabla 25
Densidad agregado grueso	1,716 gr/cm ³ = 1716 kg/m ³	
%Humedad agregado grueso	0,54	
Densidad del agua	1 gr/cm ³ = 1000 kg/m ³	NO APLICA
Densidad del cemento	3,10 gr/cm ³ = 3100 kg/m ³	NO APLICA

PARÁMETRO	VALOR	REFERENCIA
Densidad del agregado fino	2,536 gr/cm ³ = 2536 kg/m ³	Ver Tabla 31
%Absorción del agregado fino	1,96	
%Humedad agregado fino	1,15	
Contenido de aire:	2,0% tomando en consideración el TMN	Ver Tabla 5
Días de curado	28 días	NO APLICA
Asentamiento	10 cm o 3,93"; medio para lozas medianamente reforzadas y pavimentos.	Ver Tabla 3
Estimación de contenido de agua	205 kg/m ³ ; tomando en consideración el asentamiento y TMN	Ver Tabla 6
Resistencia de diseño	295 kg/cm ²	Ver Ecuación 9, se aclara que al tener el mismo valor de resistencia a compresión entonces el valor es igual para todos
Relación agua – cemento	0,557; tomando en consideración la resistencia de diseño	Ver Tabla 33; se aclara que, al tener el mismo valor de resistencia de diseño, entonces la relación agua – cemento es igual en todos
Contenido de cemento	368,04 kg según la consideración del TMN	Ver Ecuación 12, se aclara que, al tener el mismo TMN entonces tendrán el mismo contenido de cemento

- **Determinación de volumen de agregado grueso y fino a utilizar**

Para determinar el volumen del agregado grueso a utilizar, se basa en la relación b/b_o a partir de la **Tabla 10** que fue multiplicada por la masa unitaria compactada del mismo. Este parámetro está vinculado con el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura de la arena (ver **Tabla 43**).

Ecuación 14

Cálculo de masa de agregado grueso 10% RCD – 90% natural

$$b/b_o = 0,64 \text{ m}^3 \quad \text{MAG} = \frac{b}{b_o} * \text{Peso Unitario compactado}$$

$$\text{Peso unitario compacto} = \frac{1310 \text{ kg}}{\text{m}^3} \quad \text{MAG} = 0,64 \text{ m}^3 * \frac{1310 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 838,4 \text{ Kg}$$

Ver **Tabla 43**

$$\text{MAG} = 838,4 \text{ Kg}$$

Nota: tomado de (Rivera L, 2016)

Al tener el valor de la cantidad másica del agregado grueso, se procede a calcular los volúmenes de los materiales necesarios para preparar 1 m³ de concreto. Para ello se tiene en cuenta las densidades de estos materiales reflejados en la **Tabla 43**. Esto es:

Tabla 44

Calculo para determinar volúmenes de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 10% RCD – 90% natural

Cemento	Aire	Agregado fino
$\forall C = \frac{368,04 \text{ Kg}}{3100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$	$\forall \text{Aire} = \frac{2,0\%}{100\%}$	$\forall \text{AF} = 1 \text{ m}^3 - \sum \forall$

$$\forall C = 0,119 \text{ m}^3$$

$$\forall \text{Aire} = 0,020 \text{ m}^3$$

$$\forall \text{AF} = 1 \text{ m}^3 - \sum (0,119 + 0,205 + 0,020 + 0,48) \text{ m}^3$$

$$\forall \text{AF} = 0,18 \text{ m}^3$$

Agua	Agregado grueso
$\forall \text{Ag} = \frac{205 \text{ Kg}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$	$\forall \text{AG} = \frac{838,4 \text{ Kg}}{1716 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$
$\forall \text{Ag} = 0,205 \text{ m}^3$	$\forall \text{AG} = 0,48 \text{ m}^3$

Al tener los valores correspondientes a la cantidad de volumen de cada material (ver **Tabla 44**) y con las densidades de los mismos (ver **Tabla 43**), se determinó la cantidad másica de cada uno de los materiales, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 45

Cantidad másica de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 10% RCD – 90% natural

MATERIALES	PESO kg	DENSIDAD kg/m ³ Tabla 43	VOLUMEN m ³ Tabla 44
AGUA	205	1000	0,205
CEMENTO	368,04	3100	0,114
A. GRUESO	838,4	1716	0,48
A FINO	405,76	2536	0,18
AIRE	----	----	0,02
TOTAL	1817,2	----	1 m ³

Nota: los valores en rojo, son datos calculados a partir de datos conocidos anteriormente

- **Correcciones por humedad.**

Los datos presentados en la **Tabla 45** son cantidades de masa sin tenerse en cuenta el contenido de humedad que puede disponerse tanto en los agregados finos como gruesos. Por consiguiente, se debió de corregir teniendo en cuenta los valores del contenido de humedad y porcentaje de absorción (ver **Tabla 43**):

Tabla 46

Correcciones de humedad para concreto en agregado grueso 10% RCD – 90% natural

Contenido de humedad	Porcentaje de absorción
----------------------	-------------------------

	Contenido de humedad	Porcentaje de absorción
Agregado grueso	$MAG'c = \text{Peso seco} * \left(\frac{H.N\%}{100} + 1 \right)$	$ABsg = \frac{(\%H.N - \%ABS) * \text{PESO SECO}}{100}$
	$MAG'c = 838,4 * \left(\frac{0,54}{100} + 1 \right)$	$ABsg = \frac{(0,54\% - 2,16\%) * 838,4 \text{ Kg}}{100}$
	MAG'c = 842,92 Kg	APg = -13,58 Kg
Agregado fino	$MAF'c = \text{Peso seco} * \left(\frac{H.N\%}{100} + 1 \right)$	$ABsf = \frac{(\%H.N - \%ABS) * \text{PESO SECO}}{100}$
	$MAF'c = 405,76 * \left(\frac{1,15}{100} + 1 \right)$	$ABsf = \frac{(1,15\% - 1,96\%) * 405,76 \text{ Kg}}{100}$
	MAF'c = 410,4 Kg	ABsf = -3,28 Kg

Se establecen las respectivas correcciones de los contenidos masicos de cada material a utilizar para este tipo de agregado grueso. Este se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 47

Cantidad másica de materiales con corrección de humedad y proporciones para la dosificación de concreto en agregado grueso 10% RCD – 90% natural

MATERIALES	PESO kg	Aporte de agua total, kg Tabla 46	PESO CORREGIDO kg	PROPORCIONES DEL DISEÑO
AGUA	205	$AP = ABsg + ABsf$ -16,86 kg	$205 - AP$ $205 - (-16,86)$ 221,86	-
CEMENTO	368,04	-	368,04	$\frac{C}{C} = \frac{368,04}{368,04} = 1$
A. FINO	405,76	-	410,4	$\frac{AF}{C} = \frac{410,4}{368,04} = 1,11$
A. GRUESO	838,4	-	842,92	$\frac{AG}{C} = \frac{842,92}{368,04} = 2,29$
AIRE	----			-
TOTAL	1817,2	-	1842,96	1:1,11:2,29

7.1.3.3.4. Para agregado grueso 15% RCD – 85% natural:

Tabla 48

Parámetros previos para el diseño de mezclas para el agregado grueso 15% RCD – 85% natural

PARÁMETRO	VALOR	REFERENCIA
-----------	-------	------------

PARÁMETRO	VALOR	REFERENCIA
Resistencia a compresión	3000 psi – 21 MPa – 210 kg/cm ²	Ver (6.6.1.3)
Condición de exposición	Normal	NO APLICA
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/4"	Ver Tabla 16
Módulo de finura	2.6, ligeramente fino	Ver Ecuación 8
Peso unitario compacto	1,298 g/cm ³ = 1298 kg/m ³	Ver
Peso unitario suelto	1,188 g/cm ³ = 1188 kg/m ³	Tabla 26
%Absorción del agregado grueso	1,95	Ver Tabla 27
Densidad agregado grueso	1,777 gr/cm ³ = 1777 kg/m ³	
%Humedad agregado grueso	0,95	
Densidad del agua	1 gr/cm ³ = 1000 kg/m ³	NO APLICA
Densidad del cemento	3,10 gr/cm ³ = 3100 kg/m ³	NO APLICA
Densidad del agregado fino	2,536 gr/cm ³ = 2536 kg/m ³	Ver Tabla 31
%Absorción del agregado fino	1,96	
%Humedad agregado fino	1,15	
Contenido de aire:	2,0% tomando en consideración el TMN	Ver Tabla 5
Días de curado	28 días	NO APLICA
Asentamiento	10 cm o 3,93"; medio para lozas medianamente reforzadas y pavimentos.	Ver Tabla 3
Estimación de contenido de agua	205 kg/m ³ ; tomando en consideración el asentamiento y TMN	Ver Tabla 6
Resistencia de diseño	295 kg/cm ²	Ver Ecuación 9, se aclara que al tener el mismo valor de resistencia a compresión entonces el valor es igual para todos
Relación agua – cemento	0,557; tomando en consideración la resistencia de diseño	Ver

Tabla 33; se aclara que, al tener el

PARÁMETRO	VALOR	REFERENCIA
Contenido de cemento	368,04 kg según la consideración del TMN	mismo valor de resistencia de diseño, entonces la relación agua – cemento es igual en todos Ver Ecuación 12, se aclara que, al tener el mismo TMN entonces tendrán el mismo contenido de cemento

- **Determinación de volumen de agregado grueso y fino a utilizar**

Para determinar el volumen del agregado grueso a utilizar, se basa en la relación b/b_o a partir de la **Tabla 10** que fue multiplicada por la masa unitaria compactada del mismo. Este parámetro está vinculado con el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura de la arena (ver

Tabla 48).

Ecuación 15

Cálculo de masa de agregado grueso 15% RCD – 85% natural

$$\frac{b}{b_o} = 0,64 \text{ m}^3$$

Tabla 10

$$\text{MAG} = \frac{b}{b_o} * \text{Peso Unitario compactado}$$

$$\text{Peso unitario compacto} = \frac{1298 \text{ kg}}{\text{m}^3}$$

Ver

$$\text{MAG} = 0,64 \text{ m}^3 * \frac{1298 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 830,72 \text{ Kg}$$

Tabla 48

$$\text{MAG} = 830,72 \text{ Kg}$$

Nota: tomado de (Rivera L, 2016)

Al tener el valor de la cantidad másica del agregado grueso, se procede a calcular los volúmenes de los materiales necesarios para preparar 1 m³ de concreto. Para ello se tiene en cuenta las densidades de estos materiales reflejados en la

Tabla 48. Esto es:

Tabla 49

Calculo para determinar volúmenes de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 15% RCD – 85% natural

Cemento	Aire	Agregado fino
$\forall C = \frac{368,04 \text{ Kg}}{3100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$	$\forall \text{Aire} = \frac{2,0\%}{100\%}$	$\forall \text{AF} = 1 \text{ m}^3 - \sum \forall$
$\forall C = 0,119 \text{ m}^3$	$\forall \text{Aire} = 0,020 \text{ m}^3$	$\forall \text{AF} = 1 \text{ m}^3 - \sum (0,119 + 0,205 + 0,020 + 0,47) \text{ m}^3$
		$\forall \text{AF} = 0,19 \text{ m}^3$
Agua	Agregado grueso	
$\forall \text{Ag} = \frac{205 \text{ Kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$	$\forall \text{AG} = \frac{830,72 \text{ Kg}}{1777 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$	
$\forall \text{Ag} = 0,205 \text{ m}^3$	$\forall \text{AG} = 0,47 \text{ m}^3$	

Al tener los valores correspondientes a la cantidad de volumen de cada material (ver **Tabla 49**) y con las densidades de los mismos (ver

Tabla 48), se determinó la cantidad másica de cada uno de los materiales, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 50

Cantidad másica de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 15% RCD – 85% natural.

MATERIALES	PESO kg	DENSIDAD kg/m³	VOLUMEN m³
		Tabla 48	Tabla 49
AGUA	205	1000	0,205
CEMENTO	368,04	3100	0,119
A. GRUESO	830,72	1777	0,47

A FINO	481,84	2536	0,19
AIRE	----	-----	0,02
TOTAL	1885,6	----	1 m ³

Nota: los valores en rojo, son datos calculados a partir de datos conocidos anteriormente.

- **Correcciones por humedad**

Los datos presentados en la **Tabla 50** son cantidades de masa sin tenerse en cuenta el contenido de humedad que puede disponerse tanto en los agregados finos como gruesos. Por consiguiente, se debió de corregir teniendo en cuenta los valores del contenido de humedad y porcentaje de absorción (ver

Tabla 48):

Tabla 51

Correcciones de humedad para concreto en agregado grueso 15% RCD – 85% natural

	Contenido de humedad	Porcentaje de absorción
Agregado grueso	MAG'c = Peso seco $* \left(\frac{H.N\%}{100} + 1 \right)$	ABsg $= \frac{(\%H.N - \%ABS) * PESO SECO}{100}$
	MAG'c = 830,72 * $\left(\frac{0,95}{100} + 1 \right)$	ABsg $= \frac{(0,95\% - 1,95\%) * 830,72 \text{ Kg}}{100}$
	MAG'c = 838,6 Kg	
		APg = -8,31 Kg
Agregado fino	MAF'c = Peso seco $* \left(\frac{H.N\%}{100} + 1 \right)$	ABsf $= \frac{(\%H.N - \%ABS) * PESO SECO}{100}$
	MAF'c = 481,84 * $\left(\frac{1,15}{100} + 1 \right)$	ABsf $= \frac{(1,15\% - 1,96\%) * 481,84 \text{ Kg}}{100}$
	MAF'c = 487,38 Kg	
		ABsf = -3,9 Kg

Se establecen las respectivas correcciones de los contenidos máxicos de cada material a utilizar para este tipo de agregado grueso. Este se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 52

Cantidad másica de materiales con corrección de humedad y proporciones para la dosificación de concreto en agregado grueso 15% RCD – 85% natural

MATERIALES	PESO kg	Aporte de agua total, kg Tabla 51	PESO CORREGIDO kg	PROPORCIONES DEL DISEÑO
AGUA	205	AP = ABsg + ABsf -12,21 kg	205 – AP 205 – (-12,21) 217,21	-
CEMENTO	368,04	-	368,04	$\frac{C}{C} = \frac{368,04}{368,04} = 1$
A. FINO	481,84	-	487,38	$\frac{AF}{C} = \frac{487,38}{368,04} = 1,32$
A. GRUESO	830,72	-	838,6	$\frac{AG}{C} = \frac{838,6}{368,04} = 2,2$
AIRE	----			-
TOTAL	1885,6	-	1911,23	1:1,32:2,27

7.1.3.3.5. Para agregado grueso 20% RCD – 80% natural:

Tabla 53

Parámetros previos para el diseño de mezclas para el agregado grueso 20%RCD – 80% natural.

PARÁMETRO	VALOR	REFERENCIA
Resistencia a compresión	3000 psi – 21 MPa – 210 kg/cm ²	Ver (6.6.1.3)
Condición de exposición	Normal	NO APLICA
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/4"	Ver Tabla 17
Módulo de finura	2,6, ligeramente fino	Ver Ecuación 8
Peso unitario compacto	1,294 g/cm ³ = 1294 kg/m ³	Ver Tabla 28
Peso unitario suelto	1,144 g/cm ³ = 1144 kg/m ³	
%Absorción del agregado grueso	3,08	
Densidad agregado grueso	1,788 gr/cm ³ = 1788 kg/m ³	NO APLICA
%Humedad agregado grueso	0,95	
Densidad del agua	1 gr/cm ³ = 1000 kg/m ³	
Densidad del cemento	3,10 gr/cm ³ = 3100 kg/m ³	Ver Tabla 31
Densidad del agregado fino	2,536 gr/cm ³ = 2536 kg/m ³	
%Absorción del agregado fino	1,96	
%Humedad agregado fino	1,15	

PARÁMETRO	VALOR	REFERENCIA
Contenido de aire:	2,0% tomando en consideración el TMN	Ver
Días de curado	28 días	Tabla 5
Asentamiento	10 cm o 3,93"; medio para lozas medianamente reforzadas y pavimentos.	NO APLICA Ver Tabla 3
Estimación de contenido de agua	205 kg/m ³ ; tomando en consideración el asentamiento y TMN	Ver Tabla 6
Resistencia de diseño	295 kg/cm ²	Ver Ecuación 9, se aclara que al tener el mismo valor de resistencia a compresión entonces el valor es igual para todos
Relación agua – cemento	0,557; tomando en consideración la resistencia de diseño	Ver
Contenido de cemento	368,04 kg según la consideración del TMN	Ver Tabla 33 ; se aclara que, al tener el mismo valor de resistencia de diseño, entonces la relación agua – cemento es igual en todos Ver Ecuación 12, se aclara que, al tener el mismo TMN entonces tendrán el mismo contenido de cemento

- **Determinación de volumen de agregado grueso y fino a utilizar**

Para determinar el volumen del agregado grueso a utilizar, se basa en la relación b/b_o a partir de la **Tabla 10** que fue multiplicada por la masa unitaria compactada del mismo. Este

parámetro está vinculado con el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura de la arena (ver **Tabla 53**).

Ecuación 16

Cálculo de masa de agregado grueso 20% RCD – 80% natural

$$\frac{b}{b_o} = 0,64 \text{ m}^3$$

Tabla 10

$$\text{MAG} = \frac{b}{b_o} * \text{Peso Unitario compactado}$$

$$\text{Peso unitario compacto} = \frac{1294 \text{ kg}}{\text{m}^3}$$

Ver Tabla 53

$$\text{MAG} = 0,64 \text{ m}^3 * \frac{1294 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 828,16 \text{ Kg}$$

MAG = 828,16 Kg

Nota: tomado de (Rivera L, 2016)

Al tener el valor de la cantidad másica del agregado grueso, se procede a calcular los volúmenes de los materiales necesarias para preparar 1 m³ de concreto. Para ello se tiene en cuenta las densidades de estos materiales reflejados en la **Tabla 53**. Esto es:

Tabla 54

Calculo para determinar volúmenes de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 15% RCD – 85% natural

Cemento	Aire	Agregado fino
$\forall C = \frac{368,04 \text{ Kg}}{3100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$	$\forall \text{Aire} = \frac{2,0\%}{100\%}$	$\forall \text{AF} = 1 \text{ m}^3 - \sum \forall$
$\forall C = 0,119 \text{ m}^3$	$\forall \text{Aire} = 0,020 \text{ m}^3$	$\forall \text{AF} = 1 \text{ m}^3 - \sum (0,119 + 0,205 + 0,020 + 0,46) \text{ m}^3$
		$\forall \text{AF} = 0,20 \text{ m}^3$
Agua	Agregado grueso	
$\forall \text{Ag} = \frac{205 \text{ Kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$	$\forall \text{AG} = \frac{828,16 \text{ Kg}}{1788 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$	
$\forall \text{Ag} = 0,205 \text{ m}^3$	$\forall \text{AG} = 0,46 \text{ m}^3$	

Al tener los valores correspondientes a la cantidad de volumen de cada material (ver **Tabla 49**) y con las densidades de los mismos (ver

Tabla 48), se determinó la cantidad másica de cada uno de los materiales, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 55

Cantidad másica de materiales para la dosificación de concreto en agregado grueso 20% RCD – 80% natural.

MATERIALES	PESO kg	DENSIDAD kg/m ³	VOLUMEN m ³
		Tabla 53	Tabla 54
AGUA	205	1000	0,205
CEMENTO	368,04	3100	0,119
A. GRUESO	828,16	1777	0,47
A FINO	507,2	2536	0,19
AIRE	----	----	0,02
TOTAL	1908,4	----	1 m ³

Nota: los valores en rojo, son datos calculados a partir de datos conocidos anteriormente

- **Correcciones por humedad**

Los datos presentados en la **Tabla 55** son cantidades de masa sin tenerse en cuenta el contenido de humedad que puede disponerse tanto en los agregados finos como gruesos. Por consiguiente, se debió de corregir teniendo en cuenta los valores del contenido de humedad y porcentaje de absorción (ver **Tabla 53**):

Tabla 56

Correcciones de humedad para concreto en agregado grueso 20%RCD – 80%natural

	Contenido de humedad	Porcentaje de absorción
Agregado grueso	MAG'c = Peso seco	ABsg
	$\ast \left(\frac{H.N\%}{100} + 1 \right)$	$= \frac{(\%H.N - \%ABS) \ast PESO SECO}{100}$
	MAG'c = 828,16 $\ast \left(\frac{0,51}{100} + 1 \right)$	$= \frac{ABsg}{100}$
	MAG'c = 832,38 Kg	APg = -21,2 Kg
Agregado fino	MAF'c = Peso seco	ABsf
	$\ast \left(\frac{H.N\%}{100} + 1 \right)$	$= \frac{(\%H.N - \%ABS) \ast PESO SECO}{100}$

$$MAF'c = 507,2 * \left(\frac{1,15}{100} + 1 \right) \quad ABsf = \frac{(1,15\% - 1,96\%) * 507,2 \text{ Kg}}{100}$$

$$MAF'c = 513,03 \text{ Kg}$$

$$ABsf = -4,1 \text{ Kg}$$

Se establecen las respectivas correcciones de los contenidos máxicos de cada material a utilizar para este tipo de agregado grueso. Este se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 57

Cantidad máxica de materiales con corrección de humedad y proporciones para la dosificación de concreto en agregado grueso 20% RCD – 80% natural.

MATERIALES	PESO kg	Aporte de agua total, kg Tabla 56	PESO CORREGIDO kg	PROPORCIONES DEL DISEÑO
AGUA	205	AP = ABsg + ABsf -25,3 kg	205 – AP 205 – (-25,3) 230,3	-
CEMENTO	368,04	-	368,04	$\frac{C}{C} = \frac{368,04}{368,04} = 1$
A. FINO	507,2	-	513,03	$\frac{AF}{C} = \frac{513,03}{368,04} = 1,39$
A. GRUESO	828,16	-	832,38	$\frac{AG}{C} = \frac{832,38}{368,04} = 2,26$
AIRE	----	-	-	-
TOTAL	1908,4	-	2037,58	1:1,39:2,26

7.1.3.4. Elaboración de mezclas de concreto según las combinaciones de agregado grueso con RCD. Para la elaboración de las mezclas de concreto según las proporciones y cantidades calculadas, se utilizaron moldes cilíndricos con medidas

estándar de 30 cm de alto con 15 cm de diámetro. A continuación, se presenta el consolidado de la cantidad de materiales que se requieren para preparar cada espécimen:

Tabla 58

Valores correspondientes al diseño de mezcla según las combinaciones de agregado grueso.

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO	VALORES				
	0% - 100%	5% - 95%	10% - 90%	15% - 85%	20% - 80%
Estimación del contenido de aire	2,5%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%
Cálculo de contenido de cemento	387,79 kg	368,04 Kg	368,04 Kg	368,04 Kg	368,04 Kg
Agua a ser adicionada (corrección por humedad)	220,97 kg	223,4 Kg	221,86 Kg	217,21 Kg	230,3 Kg
Agregado grueso (corregido por humedad)	881,06 kg	863,77 Kg	842,92 Kg	838,6 Kg	832,38 Kg
Agregado Fino (corregido por humedad)	743,89 kg	333,4 Kg	410,14 Kg	487,38 Kg	513,03 Kg
PROPORCIONES	1:1.92:2.27	1:0.91:2.34	1:1.11:2.29	1:1.32:2.27	1:1.39:2.26

Según la tabla anterior, se puede analizar que, al variar las proporciones correspondientes a RCD + agregado grueso natural cambió de manera proporcional la cantidad de agregado fino a disponer a la mezcla, evidenciando que, a medida que se incrementa la proporción de agregados disminuye consecutivamente la cantidad de agregado fino dispuesto a realizar la mezcla correspondiente.

Ilustración 8

Proceso de elaboración de mezclas de concreto según las combinaciones



Luego de este proceso, los cilindros se llevaron hasta las piscinas para iniciar el proceso de curado. Para ello, estos especímenes se dejaron en curado por un tiempo de 28 días.

Ilustración 9

Proceso de curado de los especímenes en piscinas de V&O ingenierías S.A.S



7.2. Etapa 2: Determinación De Módulos De Elasticidad De Los Espécimen De Concreto

El Módulo de Elasticidad del concreto es considerado uno de los más importantes parámetros en el diseño y construcción de estructuras de concreto (Delgado, 2018). El valor del módulo de elasticidad depende en general del tipo de concreto, de su dosificación, del tipo y origen de agregado usado, por las diferentes respuestas del material ante cargas, de la matriz de cemento presente en el concreto y de la calidad del agregado (Quimbay, 2011).

A continuación, se presenta el cálculo de los módulos de elasticidad del concreto estático y dinámico respectivamente, para cada diseño de mezcla obtenido para los distintos porcentajes de residuos de construcción y demolición (RCD).

7.2.1. Actividad 1. Cálculo del Módulo de elasticidad estático.

Para el módulo de elasticidad estático se tuvo en cuenta la ecuación estipulada en el marco metodológico en donde se especifican los datos necesarios para poder realizar el cálculo

de dicho módulo según los especímenes de concreto realizados en la etapa anterior con relación a los porcentajes de RCD + agregado grueso natural.

- **Masa unitaria del concreto endurecido – dimensiones:** para ello, se elaboraron 6 especímenes de concreto de forma cilíndrica por cada porcentaje de proporción para un total de 30 cilindros, los cuales posteriormente se llevaron a curado durante 28 días como se estipuló en el marco metodológico.; después del curado, se determinó para cada espécimen su masa unitaria y sus dimensiones (diámetro y altura) para calcular el volumen de los mismos.

Ilustración 10

Mediciones de masa, altura y diámetro de los especímenes.



- **Resistencia a compresión:** después de determinar los valores mencionados, los especímenes se llevaron a fallar en la prensa hidráulica del laboratorio V&O ingenierías S.A.S.

Ilustración 11

Procedimiento de ensayo de resistencia a compresión



7.2.1.1. Resistencia a la compresión de los cilindros de concreto con 0% 5% 10% 15% y 20% de RCD.

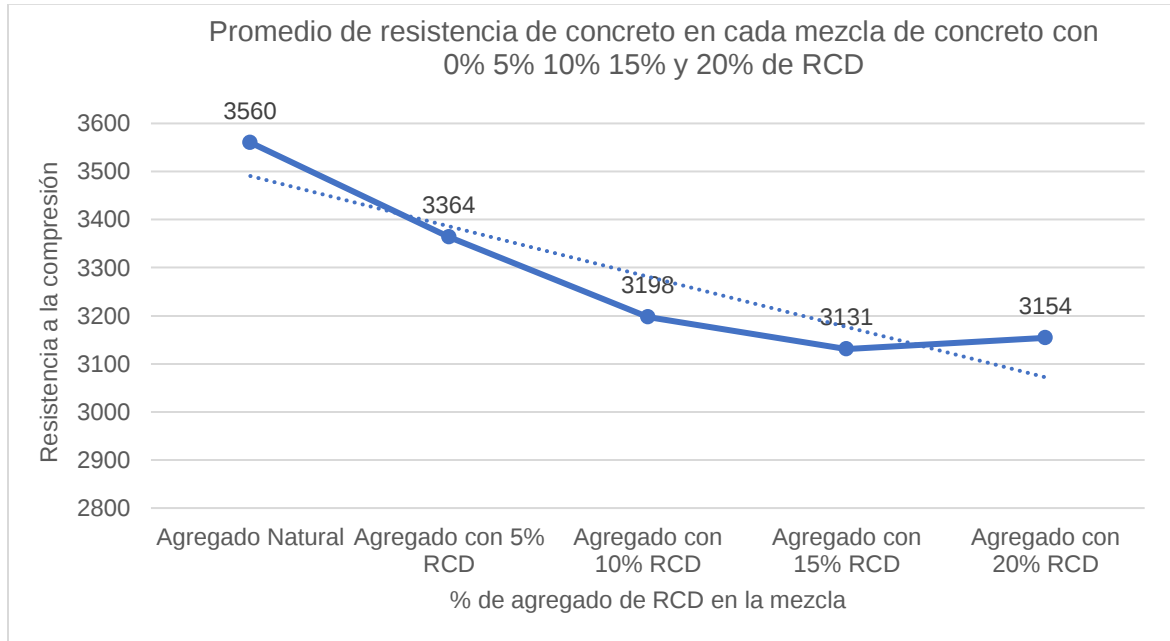
Tabla 59

Promedio de resistencias a la compresión de los cilindros de concreto de acuerdo a el porcentaje de RCD.

PORCENTAJE DE RCD	RESISTENCIA PROMEDIO (PSI)
Agregado Natural	3560
Agregado con 5% RCD	3364
Agregado con 10% RCD	3198
Agregado con 15% RCD	3131
Agregado con 20% RCD	3154

Gráfica 7

Promedio de resistencia del concreto en cada a mezcla de concreto con 0% 5% 10% 15% y 20% de RCD.



Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la gráfica anterior, se puede constatar que, hay una diferencia marcada en la resistencia del concreto con agregado natural (0% de RCD) con respecto a los demás especímenes de concreto de 5%; 10%; 15% y 20% de agregado grueso proveniente de RCD. Los especímenes de concreto con porcentajes de agregado grueso RCD, presentan una capacidad de resistencia menor, en comparación con los especímenes de agregado grueso natural. Así mismo lo establece en su trabajo de investigación (Mena & Valdés, 2014) “la resistencia a la compresión disminuye a medida que se van reemplazando las cantidades de agregado natural por agregado reciclado”. En este sentido, hay una relación directa entre el porcentaje de agregado natural y agregado reciclado, influenciando en la resistencia final del concreto. De este modo, a mayor porcentaje de agregado reciclado, se espera una menor resistencia a la compresión del concreto.

- **Módulo de elasticidad estático para concreto con agregado grueso 100% natural**

Tabla 60

Módulo de elasticidad estático para diseño de mezcla 0% RCD – 100% natural

MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO

NUMERO DE CILINDROS	MASA UNITARIA (W) Ton/m3	RESISTENCIA Kg/Cm2	MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO (Kg/Cm2)
1	2,3	244,57	228136
2	2,4	266,28	251962
3	2,3	267,83	242022
4	2,2	239,01	221340
5	2,3	253,00	230424
6	2,4	231,18	235291
PROMEDIO			234862

- **Módulo de elasticidad estático para concreto con agregado grueso 5% RCD – 95 % natural**

Tabla 61

Módulo de elasticidad estático para diseño de mezcla 5% RCD – 95 % natural

MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO			
NUMERO DE CILINDROS	MASA UNITARIA (W) Ton/m3	RESISTENCIA Kg/Cm2	MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO (Kg/Cm2)
1	2,4	246,72	248078
2	2,4	252,40	250297
3	2,4	222,53	237287
4	2,4	216,47	234023
5	2,4	236,09	247673
6	2,4	244,96	251973
PROMEDIO			244889

- **Módulo de elasticidad estático para concreto con agregado grueso 10% RCD - 90% natural**

Tabla 62

Módulo de elasticidad estático para diseño de mezcla 10% RCD - 90% natural

MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO			
NUMERO DE CILINDROS	MASA UNITARIA (W) Ton/m3	RESISTENCIA Kg/Cm2	MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO (Kg/Cm2)
1	2,3	227,21	224203
2	2,2	237,41	217330
3	2,2	238,84	221406
4	2,3	216,30	213981
5	2,3	213,55	219517
6	2,3	215,58	216323
PROMEDIO			218793

- **Módulo de elasticidad estático para concreto con agregado grueso 15% RCD - 85% natural.**

Tabla 63

Módulo de elasticidad estático para diseño de mezcla 15% RCD – 85% natural

MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO			
NUMERO DE CILINDROS	MASA UNITARIA (W) Ton/m3	RESISTENCIA Kg/Cm2	MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO (Kg/Cm2)
1	2,3	220,65	224708
2	2,3	221,98	227096
3	2,3	213,05	217670
4	2,3	221,98	222637
5	2,3	216,63	222071
6	2,3	226,39	223187
PROMEDIO			222895

- **Módulo de elasticidad estático para concreto con agregado grueso 20% RCD - 80% natural.**

Tabla 64

Módulo de elasticidad estático para diseño de mezcla 20% RCD - 80% natural

MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO			
NUMERO DE CILINDROS	MASA UNITARIA (W) Ton/m3	RESISTENCIA Kg/Cm2	MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO (Kg/Cm2)
1	2,3	247,27	239175
2	2,3	208,48	220083
3	2,3	227,65	227772
4	2,3	213,93	215305
5	2,3	221,92	216515
6	2,3	211,18	211648
PROMEDIO			221750

- **Promedio y tendencia del módulo de elasticidad estático.**

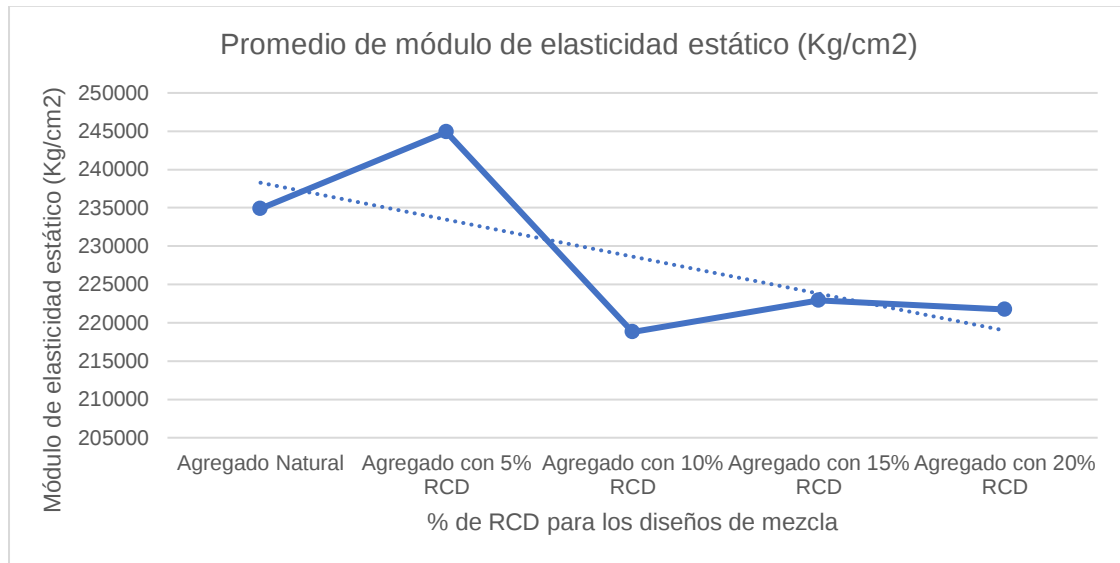
Tabla 65

Promedio de módulo de elasticidad estático de acuerdo a porcentaje de RCD

PORCENTAJE DE RCD	PROMEDIO DE MÓDULO ESTÁTICO (Kg/cm2)
Agregado Natural	234862
Agregado con 5% RCD	244889
Agregado con 10% RCD	218793
Agregado con 15% RCD	222895
Agregado con 20% RCD	221750

Gráfica 8

Promedio y tendencia del módulo de elasticidad estático del concreto



La gráfica anterior, muestra una variación entre los módulos de elasticidad de todos los especímenes, en donde se evidencia un incremento del mismo en el agregado con 5% RCD en comparación con el natural. Además, se visualiza que, a partir del módulo de elasticidad del 5% RCD disminuye abruptamente en el 10% RCD, seguidamente un incremento leve en el porcentaje 15% RCD y disminución en el porcentaje 20% RCD. Este patrón puede presentar cierta coincide con la tendencia de la resistencia a la compresión, que, a pesar de que la resistencia disminuye con el reemplazo de material reciclado, la distribución de este agregado en la mezcla proporciona cierto grado de rigidez a la deformación, específicamente en el primer reemplazo del 5% RCD.

- **Correlación lineal del módulo de elasticidad estático Vs Resistencia.**

Gráfica 9

Correlación lineal Módulo de elasticidad estático vs resistencia a la compresión.

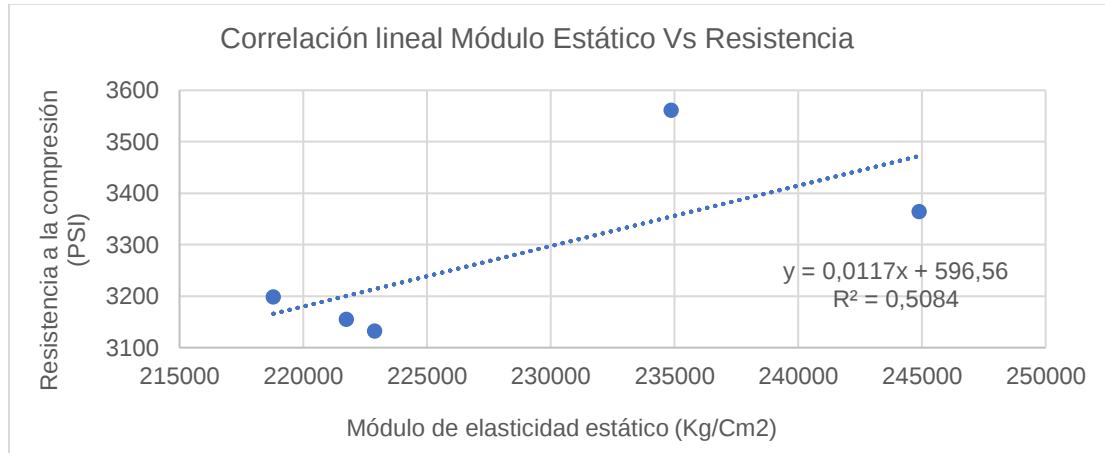


Tabla 66

Coeficiente de correlación de Pearson del módulo de elasticidad estático Vs Resistencia.

MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO	RESISTENCIA PROMEDIO (PSI)
234862	3560
244889	3364
218793	3198
222895	3131
221750	3154
Coef. Correlación	0,71

De acuerdo a la tabla anterior, se observa que existe una correlación lineal de Pearson de 0,71 entre las variables relacionadas, tal y como se muestra en la gráfica. “El coeficiente de correlación muestral, a diferencia de la covarianza muestral, no solamente mide el sentido de la relación entre las variables sino también la fuerza de la relación lineal o grado de asociación lineal” (Lahura, 2003).

En este sentido, se puede apreciar que dicho valor de coeficiente de correlación es fuerte positivo (Cohen, 1988) y del mismo modo hay una perfecta asociación lineal entre el módulo de elasticidad estático y la resistencia a la compresión del concreto. En otras palabras, se puede establecer que ambas variables son directamente proporcionales.

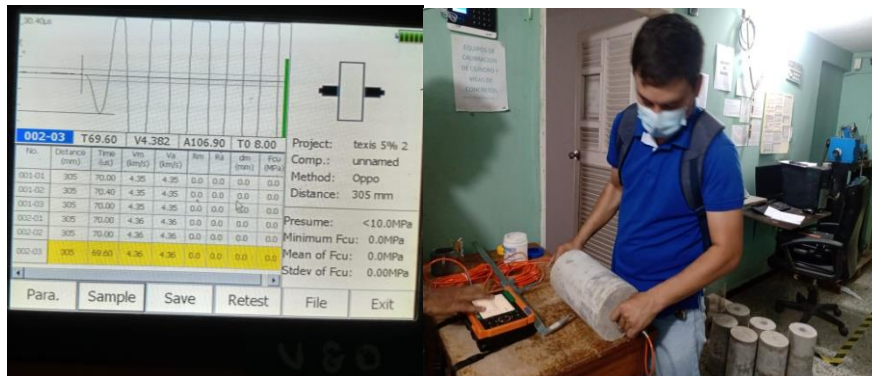
7.2.2. Actividad 2. Cálculo del Módulo de elasticidad dinámico

Para el módulo de elasticidad dinámico se tuvo en cuenta la

Ecuación 6 en donde se especifican los datos necesarios para poder realizar el cálculo de dicho módulo según los especímenes de concreto realizados en la etapa anterior con relación a los porcentajes de RCD + agregado grueso natural.

Ilustración 12

Procedimiento para medición de velocidad de onda promedio.



- **Módulo de elasticidad dinámico para concreto con agregado grueso 100% natural.**

Tabla 67

Módulo de elasticidad dinámico para diseño de mezcla 0% RCD -100% natural

MODULO DE ELASTICIDAD DINAMICO				
NUMERO DE CILINDROS	MASA UNITARIA (W) Kg/m3	VELOCIDAD MEDIA Km/s	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Mpa)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/Cm2)
1	2268,3	4,3	37746,78	377468
2	2355,9	4,36	40306,24	403062
3	2289,1	4,23	36862,77	368628
4	2240,2	4,36	38326,78	383268

5	2257,8	4,32	37922,37	379224
6	2359,4	4,31	39445,61	394456
PROMEDIO				384351

- **Módulo de elasticidad dinámico para concreto con agregado grueso 5% RCD - 95% natural.**

Tabla 68

Módulo de elasticidad dinámico para diseño de mezcla de 5% RCD - 95% natural.

MODULO DE ELASTICIDAD DINAMICO				
NUMERO DE CILINDROS	MASA UNITARIA (W) Kg/m3	VELOCIDAD MEDIA Km/s	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Mpa)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm2)
1	2391,7	4,43	42243,19	422432
2	2387,9	4,36	40853,72	408537
3	2402,3	4,33	40536,43	405364
4	2423,2	4,44	42993,00	429930
5	2450,3	4,15	37980,26	379803
6	2398,6	4,04	35234,09	352341
PROMEDIO				399734

- **Módulo de elasticidad dinámico para concreto con agregado grueso 10% RCD - 90% natural.**

Tabla 69

Módulo de elasticidad dinámico para diseño de mezcla de 10% RCD - 90% natural

MODULO DE ELASTICIDAD DINAMICO				
NUMERO DE CILINDROS	MASA UNITARIA (W) Kg/m3	VELOCIDAD MEDIA Km/s	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Mpa)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm2)
1	2298,3	4,39	39863,76	398638

2	2217,9	4,47	39884,07	398841
3	2241,1	4,5	40844,05	408440
4	2278,1	4,48	41150,14	411501
5	2324,9	4,45	41434,95	414349
6	2281,9	3,76	29034,53	290345
PROMEDIO				387019

- **Módulo de elasticidad dinámico para concreto con agregado grueso 15% RCD - 85% natural.**

Tabla 70

Módulo de elasticidad dinámico para diseño de mezcla 15% RCD - 85% natural.

MODULO DE ELASTICIDAD DINAMICO				
NUMERO DE CILINDROS	MASA UNITARIA (W) Kg/m3	VELOCIDAD MEDIA Km/s	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Mpa)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm2)
1	2324,3	4,1	35164,33	351643
2	2336	4,12	35686,98	356870
3	2326,8	4,07	34688,89	346889
4	2330,5	4,39	40422,27	404223
5	2338,4	3,74	29437,74	294377
6	2308,4	4,28	38057,58	380576
PROMEDIO				355763

- **Módulo de elasticidad dinámico para concreto con agregado grueso 20% RCD - 80% natural.**

Tabla 71

Módulo de elasticidad dinámico para el diseño de mezcla 20% RCD - 80% natural.

MODULO DE ELASTICIDAD DINAMICO				
NUMERO DE CILINDROS	MASA UNITARIA (W) Kg/m3	VELOCIDAD MEDIA Km/s	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Mpa)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm2)
1	2334,9	4,28	38494,47	384945
2	2257	4,37	38791,53	387915

3	2260,9	4,28	37274,46	372745
4	2263,6	4,33	38196,01	381960
5	2267,1	4,35	38609,28	386093
6	2242,2	4,3	37312,45	373125
PROMEDIO				373125

- **Promedio y tendencia del módulo de elasticidad dinámico.**

Tabla 72

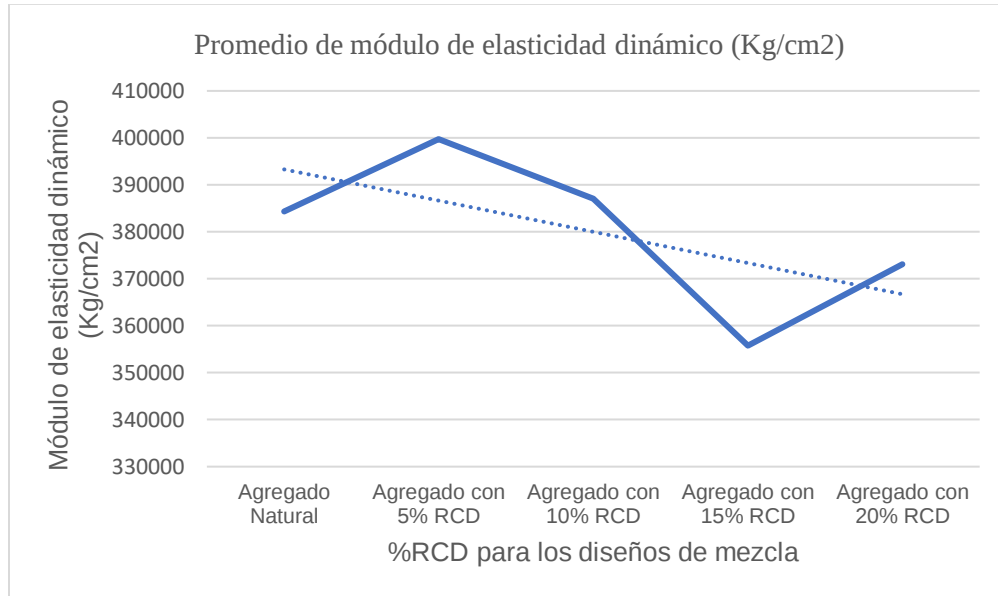
Promedio de módulo de elasticidad dinámico de acuerdo a porcentaje de RCD

PORCENTAJE DE RCD	PROMEDIO DE MÓDULO DINÁMICO (Kg/cm2)
Agregado Natural	384351
Agregado con 5% RCD	399734
Agregado con 10% RCD	387019
Agregado con 15% RCD	355763
Agregado con 20% RCD	373125

Gráfica 10

Promedio y tendencia del módulo de elasticidad dinámico del concreto





De la gráfica anterior, se puede ver una tendencia variable entre el concreto con agregado natural y el agregado con porcentaje de 5% RCD. A partir de ese punto, empieza una disminución abrupta hasta el concreto con 15% RCD del valor del módulo de elasticidad dinámico, a diferencia del módulo elasticidad estático que muestra una variación de esos valores. Para este módulo, podría tener un comportamiento similar a la resistencia a compresión, pero a partir del agregado 5% RCD con variación del agregado reciclado.

- **Correlación lineal del módulo de elasticidad dinámico Vs Resistencia.**

Gráfica 11

Correlación lineal Módulo de elasticidad dinámico vs resistencia a la compresión

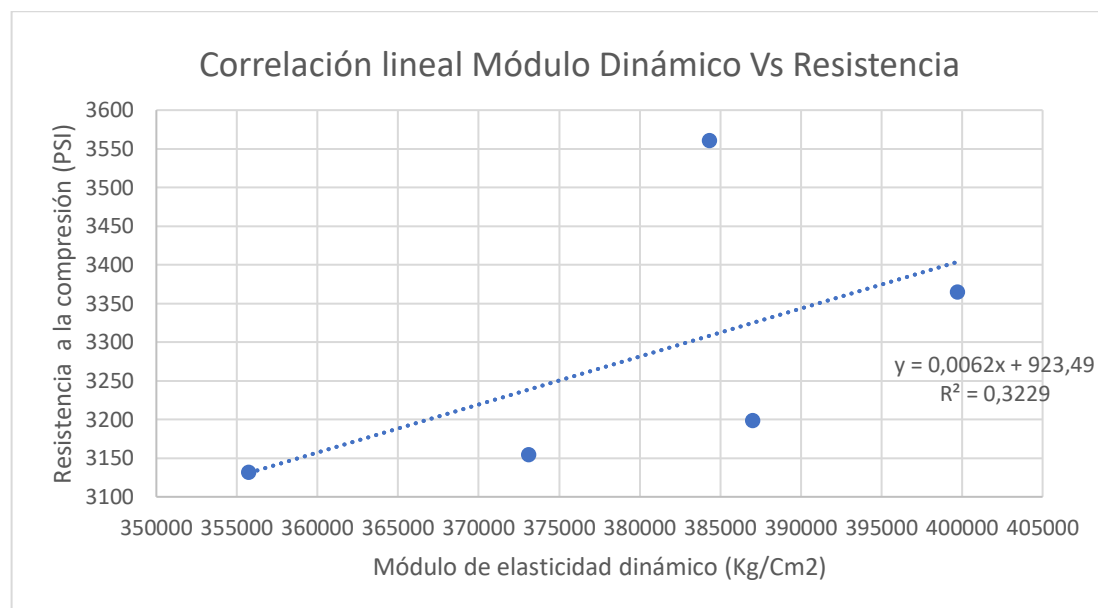


Tabla 73

Coefficiente de correlación de Pearson del módulo de elasticidad dinámico Vs resistencia

MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO	RESISTENCIA PROMEDIO (PSI)
384351	3560
399734	3364
387019	3198
355763	3131
373125	3154
Coef. Correlación	0,57

De acuerdo a la tabla anterior, se observa que existe una correlación lineal de Pearson de 0,57 entre las variables relacionadas, tal y como se muestra en la gráfica. Sin embargo, esta correlación, aunque es fuerte positiva según (Cohen, 1988); se puede apreciar que este coeficiente de correlación de Pearson, es menor que el encontrado entre el módulo de elasticidad estático vs resistencia.

7.3. Diseño Experimental De Los Módulos De Elasticidad Del Concreto Con Proporciones De RCD.

A partir del proceso de cálculo para la determinación de los módulos de elasticidad tanto estáticos como dinámicos realizados en la etapa 2, se procedió a realizar el diseño experimental completamente al azar en aras de establecer cuál será la proporción idónea de agregado grueso + RCD con mejor módulo de elasticidad. En total, se analizaron 60 datos, 30 por cada módulo de elasticidad; los datos se presentan a continuación.

Tabla 74

Módulos de elasticidad estático en valores kg/cm^2

TRATAMIENTOS	NÚMERO DE ENSAYOS: módulo de elasticidad estático (kg/cm^2)					
	1	2	3	4	5	6
0%	228136,171	251961,519	242021,597	221339,858	230424,043	235290,536
5%	248077,645	250297,455	237286,938	234023,165	247673,307	251972,955
10%	224203,422	217329,938	221406,086	213980,63	219516,903	216323,451
15%	224707,792	227096,455	217669,835	222637,118	222070,888	223187,194
20%	239175,273	220082,56	227772,323	215305,169	216514,709	211647,921

Tabla 75.

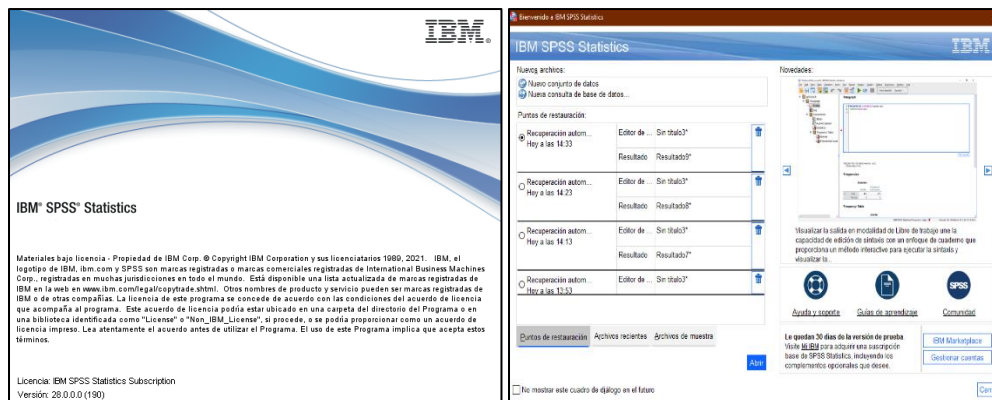
Módulos de elasticidad dinámico en valores kg/cm^2

TRATAMIENTOS	NÚMERO DE ENSAYOS: módulo de elasticidad dinámico (kg/cm^2)					
	1	2	3	4	5	6
0%	377467,803	403062,45	368627,737	383267,753	379223,7	394456,053
5%	422431,86	408537,215	405364,342	429929,96	379802,626	352340,908
10%	398637,607	398840,743	408440,475	411501,404	414349,49	290345,305
15%	351643,347	356869,786	346888,884	404222,661	294377,435	380575,751
20%	384944,689	387915,33	372744,635	381960,09	386092,798	373124,502

Para el diseño experimental completamente al azar, se utilizó el software IBM SPSS Statistic versión 28.0.

Ilustración 13

Software informático IBM SPSS Statistic versión 28.0



Nota: tomado en IBM, 2021

7.3.1. Diseño experimental del módulo de elasticidad estático

Se digitaron en el software los 30 datos correspondientes al módulo de elasticidad en unidades de kg/m^2 (ver **Tabla 74**). Cabe aclarar que, se analizó la variable del módulo de elasticidad; en donde se determinó el diseño de mezcla de agregado grueso + RCD con el mejor módulo.

Ilustración 14

Software con datos de los módulos de elasticidad estático IBM SPSS Statistic 28.0

	AGREGADOS_RCD	MODULO_ESTATICO
1	0	228136.17
2	0	251961.52
3	0	242021.60
4	0	221339.86
5	0	230424.04
6	0	235290.54
7	5	248077.65
8	5	250297.45
9	5	237286.94
10	5	234023.17
11	5	247673.31
12	5	251972.96

Nota: tomado de IBM y modificado por autores del proyecto, 2021

Para realizar el análisis del diseño experimental se aplicó la opción analizar dentro del menú Análisis/Modelo lineal General/Univariable. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 76

ANOVA de los resultados al 95% de los tratamientos (agregados + RCD) del módulo estático

ANOVA					
	MODULO_ESTATICO kg/cm ²				
	Suma de	GL	Media	F	Sig.
	cuadrados		cuadrática		
Entre grupos	2881030412,317	4	720257603,079	12,040	<,001
Dentro de grupos	1495608775,318	25	59824351,013		
Total	4376639187,635	29			

Según el ANOVA realizado en el software IBM SPSS Statistic versión 28.0 se pudo evidenciar que, los tratamientos tienen un grado de significancia alto al nivel de confianza del 95%; lo cual, demuestra que, hay un tratamiento que puede presentar un mejor resultado en términos de módulo de elasticidad estática. Para determinar el tipo de agregado + RCD con mejor módulo; se procedió a realizar una serie de pruebas para saber dicho resultado, en ello se usó el software nuevamente.

Tabla 77

Comparación múltiple de los tratamientos (agregados + RCD) del módulo estático usando la prueba TUKEY

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: MODULO_ESTATICO kg/cm ²							
(I)	(J)	Diferencia de	Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
AGREGADOS_RCD	AGREGADOS_RCD	medias (I-J)	estándar		Límite superior	Límite inferior	
HSD Tukey	0,00%	5,00%	-10026,29025	4465,58511	,196	-23141,1393	3088,5588
		10,00%	16068,88232*	4465,58511	,011	2954,0332	29183,7314
		15,00%	11967,40698	4465,58511	,086	-1147,4421	25082,2561
		20,00%	13112,62802	4465,58511	,050	-2,2211	26227,4771
	5,00%	0,00%	10026,29025	4465,58511	,196	-3088,5588	23141,1393
		10,00%	26095,17257*	4465,58511	<,001	12980,3235	39210,0216
		15,00%	21993,69723*	4465,58511	<,001	8878,8482	35108,5463
		20,00%	23138,91827*	4465,58511	<,001	10024,0692	36253,7673
	10,00%	0,00%	-16068,88232*	4465,58511	,011	-29183,7314	-2954,0332
		5,00%	-26095,17257*	4465,58511	<,001	-39210,0216	-
							12980,3235
		15,00%	-4101,47533	4465,58511	,887	-17216,3244	9013,3737
		20,00%	-2956,25430	4465,58511	,963	-16071,1034	10158,5948
	15,00%	0,00%	-11967,40698	4465,58511	,086	-25082,2561	1147,4421
		5,00%	-21993,69723*	4465,58511	<,001	-35108,5463	-8878,8482

Comparaciones múltiples						
(I)	Variable dependiente:	MODULO_ESTATICO kg/cm ²			Intervalo de confianza al 95%	
AGREGADOS_RCD	(J) AGREGADOS_RCD	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Límite superior	Límite inferior
20,00%	10,00%	4101,47533	4465,58511	,887	-9013,3737	17216,3244
	20,00%	1145,22103	4465,58511	,999	-11969,6280	14260,0701
	0,00%	-13112,62802	4465,58511	,050	-26227,4771	2,2211
	5,00%	-23138,91827*	4465,58511	<,001	-36253,7673	-
						10024,0692
	10,00%	2956,25430	4465,58511	,963	-10158,5948	16071,1034
	15,00%	-1145,22103	4465,58511	,999	-14260,0701	11969,6280
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.						

Al realizar la prueba de comparaciones múltiples por medio de TUKEY en el software IBM SPSS Statistic versión 28.0, al comparar las medias diferenciales de cada valor de módulo registrado; se pudo analizar que, hay un mayor grado de significancia al 95% de confianza con el tratamiento de la mezcla de concreto con porcentaje de agregado grueso + RCD del 5%, seguidamente con el porcentaje del 10% y en su minoría el del 15 y 20% respectivamente. Según estos resultados demostraría que, la mezcla de concreto con 5% de agregado grueso + RCD posee una mayor rigidez en el material, en donde su grado de deformación es bajo al aplicarse una carga axial sobre su superficie. (Gutiérrez & Cala, 2015).

Además, según Giraldo López & Ramos Zúñiga, 2014 afirman que, el módulo de elasticidad estático aumenta a medida en que la resistencia a compresión aumenta, logrando proporcionalmente que, las estructuras tengan un grado menor de deformación de la estructura y a la vez en la disminución de las deflexiones y esfuerzos axiales (Giraldo & Ramos, 2014).

Tabla 78

Comparación múltiple de los tratamientos (agregados + RCD) del módulo estático usando la prueba SCHEFFE.

Comparaciones múltiples

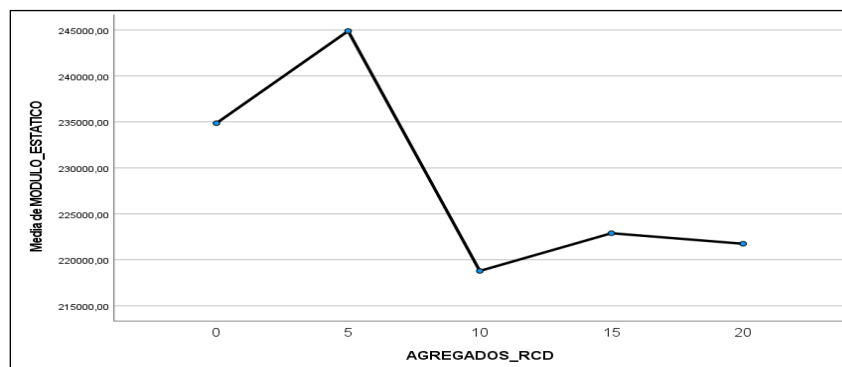
Variable dependiente: MODULO_ESTATICO kg/cm ²							
(I)	(J)	Diferencia de	Error	Sig.	Intervalo de confianza al		
AGREGADOS_RCD	AGREGADOS	medias (I-J)	estándar		95%		
	RCD				Límite superior	Límite inferior	
Scheffe	0,00%	5,00%	-10026,29025	4465,58511	,312	-24860,3980	4807,8175
		10,00%	16068,88232*	4465,58511	,029	1234,7746	30902,9900
		15,00%	11967,40698	4465,58511	,161	-2866,7007	26801,5147
		20,00%	13112,62802	4465,58511	,104	-1721,4797	27946,7357
	5,00%	0,00%	10026,29025	4465,58511	,312	-4807,8175	24860,3980
		10,00%	26095,17257*	4465,58511	<,001	11261,0649	40929,2803
		15,00%	21993,69723*	4465,58511	,001	7159,5895	36827,8049
		20,00%	23138,91827*	4465,58511	<,001	8304,8106	37973,0260
	10,00%	0,00%	-	4465,58511	,029	-30902,9900	-1234,7746
			16068,88232*				
		5,00%	-	4465,58511	<,001	-40929,2803	-11261,0649
			26095,17257*				
		15,00%	-4101,47533	4465,58511	,930	-18935,5830	10732,6324
		20,00%	-2956,25430	4465,58511	,978	-17790,3620	11877,8534
	15,00%	0,00%	-11967,40698	4465,58511	,161	-26801,5147	2866,7007
		5,00%		4465,58511	,001	-36827,8049	-7159,5895
			21993,69723				
		10,00%	4101,47533	4465,58511	,930	-10732,6324	18935,5830
		20,00%	1145,22103	4465,58511	,999	-13688,8867	15979,3287
	20,00%	0,00%	-13112,62802	4465,58511	,104	-27946,7357	1721,4797
		5,00%	-	4465,58511	<,001	-37973,0260	-8304,8106
			23138,91827*				
		10,00%	2956,25430	4465,58511	,978	-11877,8534	17790,3620
		15,00%	-1145,22103	4465,58511	,999	-15979,3287	13688,8867

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Al realizar la prueba de comparaciones múltiples por medio de SCHEFFE en el software IBM SPSS Statistic versión 28.0, al comparar las medias diferenciales de cada valor de módulo registrado; se pudo analizar que, hay un mayor grado de significancia al 95% de confianza con el tratamiento de la mezcla de concreto con porcentaje de agregado grueso + RCD del 5%, seguidamente con el porcentaje del 10% y en su minoría el del 15 y 20% respectivamente. Esto demuestra que, conjunto con la prueba de TUKEY realizada en este software, el diseño de mezcla con el mejor módulo de elasticidad estático resulta ser el porcentaje del 5% de agregado grueso + RCD. El módulo de elasticidad estático depende de la influencia que pueda dar las variables de forma, textura, densidad, y porosidad de los agregados representan un efecto significativo en la calidad del concreto (Serrano & Pérez, 2010).

Gráfica 12

Comparación de promedios de los módulos de elasticidad estático (kg/cm^2) de los tratamientos (agregados + RCD).



Al verificar la gráfica correspondiente realizado por el software IBM SPSS Statistic versión 28.0 en el que se comparan las medias de cada uno de los ensayos al porcentaje correspondiente de agregado grueso + RCD; se logra apreciar una proporción considerable en el promedio del módulo de elasticidad estático con el diseño de mezcla del 5%, lo cual confirman los resultados obtenidos por las pruebas de comparaciones múltiples de TUKEY y SCHEFFE. Además, se evidencia por igual que, a medida en que se aumenta el porcentaje de agregado grueso + RCD, disminuirá proporcionalmente el valor del módulo y por ende sería más susceptible a deformarse, sobre todo si se habla del porcentaje 10% respectivamente; pero con un aumento ligero en el diseño de mezcla del 15%. Uno de los aspectos posibles que explican la disminución considerable del módulo de elasticidad estático serían los cambios de la porosidad de los agregados que determinan su rigidez; además, la relación agua/cemento influye también en el módulo de elasticidad tanto de la pasta como del concreto. Morteros con relaciones A/C bajas ocasionan un incremento en el módulo de elasticidad del concreto. (Serrano & Pérez, 2010).

Según estudios realizados por Asprilla Edwin, García Diego, Mosquera Yeison, Gil Daniel en el año 2020 en el que se analizó los módulos de elasticidad estáticos en concretos con modificaciones en sus agregados gruesos demostraron que; los residuos de construcción y demolición resultaron ser una alternativa para utilizarse en remplazo de los agregados gruesos naturales, siempre y cuando se garanticen que su procedencia sea de elementos estructurales de

concreto y que sus características mecánicas no tengan daños significativos. (Asprilla et al, 2020).

Además, mencionan que, la cantidad y calidad de RCD utilizado como sustituto en las mezclas de concreto poseen un efecto importante en las propiedades de resistencia y módulo de elasticidad del concreto. El remplazo de agregado natural por los RCD hasta un 100% presentan alteraciones notables en las propiedades mecánicas. Factores como la cantidad de mortero que se encuentre adherido a los agregados reciclados, procedencia y estado del elemento de concreto utilizado como agregados reciclados son un papel vital en la disminución o aumento de la durabilidad y resistencia del concreto reciclado. Por otro lado, las mezclas de concreto que utilizan agregados reciclados que poseen altas propiedades mecánicas pueden entregar características iguales o mayores a las mezclas de concreto tradicional. (Asprilla et al, 2020).

7.3.2. *Diseño experimental del módulo de elasticidad dinámico*

Se digitaron en el software los 30 datos correspondientes al módulo de elasticidad en unidades de kg/m^2 (ver **Tabla 75**). Cabe aclarar que, se analizó la variable del módulo de elasticidad; en donde se determinó el diseño de mezcla de agregado grueso + RCD con el mejor módulo.

Ilustración 15

Software con datos de los módulos de elasticidad dinámico IBM SPSS Statistic versión 28.0

	AGREGA DOS_RC D	MODULO _DINAMI CO	var	var	var	var	var	var	var	var
1	,00	377467,80								
2	,00	403062,45								
3	,00	368627,74								
4	,00	383267,75								
5	,00	379223,70								
6	,00	394456,05								
7	5,00	422431,86								
8	5,00	408537,21								
9	5,00	405364,34								
10	5,00	429929,96								
11	5,00	379802,63								

Fuente: IBM y autores del proyecto, 2021

Para realizar el análisis del diseño experimental se aplicó la opción analizar dentro del menú Análisis/Modelo lineal General/Univariable. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 79

ANOVA de los resultados al 95% de los tratamientos (agregados + RCD) para el módulo dinámico

ANOVA					
MODULO_DINAMICO kg/cm ²					
	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	6201400919,723	4	1550350229,931	1,654	,192
Dentro de grupos	23429074678,594	25	937162987,144		
Total	29630475598,316	29			

Según los resultados arrojados por el diseño experimental con un nivel de significancia al 95% usando el programa IBM SPSS Statitics versión 28.0, se puede inferir que, los tratamientos correspondientes a los diseños de mezclas con modificaciones en su porcentaje de agregado grueso + RCD resultaron ser significativa, pero comparando con los resultados del anterior diseño para el módulo de elasticidad estático (ver

Tabla 76) resultó ser menor de lo esperado. Para comprobar cual diseño de mezcla tiene un mejor módulo de elasticidad dinámico, se procedió a realizar la comparación múltiple por las pruebas TUKEY y SCHEFFE.

Tabla 80

Comparación múltiple de los tratamientos (agregados + RCD) del módulo dinámico usando la prueba TUKEY y SCHEFFE.

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: MODULO_DINAMICO kg/cm ²							
	(I) AGREGAD OS_RCD	(J) AGREGADO S_RCD	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Lím. inferior	Lím. superior
HSD Tukey	0,00%	5,00%	-15383,56898	17674,49186	,905	-67291,2782	36524,1402
		10,00%	-2668,25470	17674,49186	1,000	-54575,9639	49239,4545
		15,00%	28587,93877	17674,49186	,501	-23319,7704	80495,6480
		20,00%	3220,57532	17674,49186	1,000	-48687,1339	55128,2845
	5,00%	0,00%	15383,56898	17674,49186	,905	-36524,1402	67291,2782
		10,00%	12715,31428	17674,49186	,950	-39192,3949	64623,0235
		15,00%	43971,50775	17674,49186	,126	-7936,2015	95879,2170
		20,00%	18604,14430	17674,49186	,828	-33303,5649	70511,8535
	10,00%	0,00%	2668,25470	17674,49186	1,000	-49239,4545	54575,9639
		5,00%	-12715,31428	17674,49186	,950	-64623,0235	39192,3949
		15,00%	31256,19347	17674,49186	,413	-20651,5157	83163,9027
		20,00%	5888,83002	17674,49186	,997	-46018,8792	57796,5392
	15,00%	0,00%	-28587,93877	17674,49186	,501	-80495,6480	23319,7704
		5,00%	-43971,50775	17674,49186	,126	-95879,2170	7936,2015
		10,00%	-31256,19347	17674,49186	,413	-83163,9027	20651,5157
		20,00%	-25367,36345	17674,49186	,612	-77275,0727	26540,3458
	20,00%	0,00%	-3220,57532	17674,49186	1,000	-55128,2845	48687,1339
		5,00%	-18604,14430	17674,49186	,828	-70511,8535	33303,5649
		10,00%	-5888,83002	17674,49186	,997	-57796,5392	46018,8792
		15,00%	25367,36345	17674,49186	,612	-26540,3458	77275,0727
Scheff e	0,00%	5,00%	-15383,56898	17674,49186	,942	-74095,9907	43328,8527
		10,00%	-2668,25470	17674,49186	1,000	-61380,6764	56044,1670
		15,00%	28587,93877	17674,49186	,629	-30124,4829	87300,3604
		20,00%	3220,57532	17674,49186	1,000	-55491,8464	61932,9970
	5,00%	0,00%	15383,56898	17674,49186	,942	-43328,8527	74095,9907
		10,00%	12715,31428	17674,49186	,970	-45997,1074	71427,7360
		15,00%	43971,50775	17674,49186	,219	-14740,9139	102683,9294
		20,00%	18604,14430	17674,49186	,890	-40108,2774	77316,5660
	10,00%	0,00%	2668,25470	17674,49186	1,000	-56044,1670	61380,6764
		5,00%	-12715,31428	17674,49186	,970	-71427,7360	45997,1074
		15,00%	31256,19347	17674,49186	,548	-27456,2282	89968,6151
		20,00%	5888,83002	17674,49186	,998	-52823,5917	64601,2517
	15,00%	0,00%	-28587,93877	17674,49186	,629	-87300,3604	30124,4829
		5,00%	-43971,50775	17674,49186	,219	-102683,9294	14740,9139
		10,00%	-31256,19347	17674,49186	,548	-89968,6151	27456,2282
		20,00%	-25367,36345	17674,49186	,725	-84079,7851	33345,0582

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: MODULO_DINAMICO kg/cm ²						
(I) AGREGAD OS_RCD	(J) AGREGADO S_RCD	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Lím. inferior	Lím. superior
20,00%	0,00%	-3220,57532	17674,49186	1,000	-61932,9970	55491,8464
	5,00%	-18604,14430	17674,49186	,890	-77316,5660	40108,2774
	10,00%	-5888,83002	17674,49186	,998	-64601,2517	52823,5917
	15,00%	25367,36345	17674,49186	,725	-33345,0582	84079,7851

Según los resultados de las comparaciones múltiples usando las pruebas TUKEY y SCHEFFE presentados por el software IBM SPSS Statitics versión 28.0, se logró evidenciar que, para estos métodos no resultaron ser significativos al 95% de confianza; esto quiere decir que, los tratamientos correspondientes a los diseños de mezclas tendrían el mismo efecto. Más sin embargo se coloca como referencia estas pruebas para justificar el motivo de usar otro tipo de comparación diferente al usado en el módulo de elasticidad estático. Para ello, se usó la prueba de comparación de medias utilizando el software mencionado.

Tabla 81

Comparación por parejas de los tratamientos (agregados + RCD) del módulo dinámico usando la prueba de comparación por parejas.

Comparaciones por parejas						
Variable dependiente: MODULO_DINAMICO kg/cm ²						
(I) AGREGADOS _RCD	(J) AGREGADOS _RCD	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig. ^b	95% de intervalo de confianza para diferencia ^b	
					Límite inferior	Límite superior
0,00%	5,00%	-15383,569	17674,492	,392	-51784,866	21017,728
	10,00%	-2668,255	17674,492	,881	-39069,552	33733,043
	15,00%	28587,939	17674,492	,118	-7813,359	64989,236
	20,00%	3220,575	17674,492	,857	-33180,722	39621,873
5,00%	0,00%	15383,569	17674,492	,392	-21017,728	51784,866
	10,00%	12715,314	17674,492	,479	-23685,983	49116,612
	15,00%	43971,508*	17674,492	,020	7570,210	80372,805
	20,00%	18604,144	17674,492	,303	-17797,153	55005,442
10,00%	0,00%	2668,255	17674,492	,881	-33733,043	39069,552
	5,00%	-12715,314	17674,492	,479	-49116,612	23685,983
	15,00%	31256,193	17674,492	,089	-5145,104	67657,491
	20,00%	5888,830	17674,492	,742	-30512,467	42290,127
15,00%	0,00%	-28587,939	17674,492	,118	-64989,236	7813,359
	5,00%	-43971,508*	17674,492	,020	-80372,805	-7570,210
	10,00%	-31256,193	17674,492	,089	-67657,491	5145,104
	20,00%	-25367,363	17674,492	,164	-61768,661	11033,934

Comparaciones por parejas						
(I) AGREGADOS _RCD	(J) AGREGADOS _RCD	Variable dependiente: MODULO_DINAMICO kg/cm ²				
		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig. ^b	95% de intervalo de confianza para diferencia ^b	
					Límite inferior	Límite superior
20,00%	0,00%	-3220,575	17674,492	,857	-39621,873	33180,722
	5,00%	-18604,144	17674,492	,303	-55005,442	17797,153
	10,00%	-5888,830	17674,492	,742	-42290,127	30512,467
	15,00%	25367,363	17674,492	,164	-11033,934	61768,661

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.

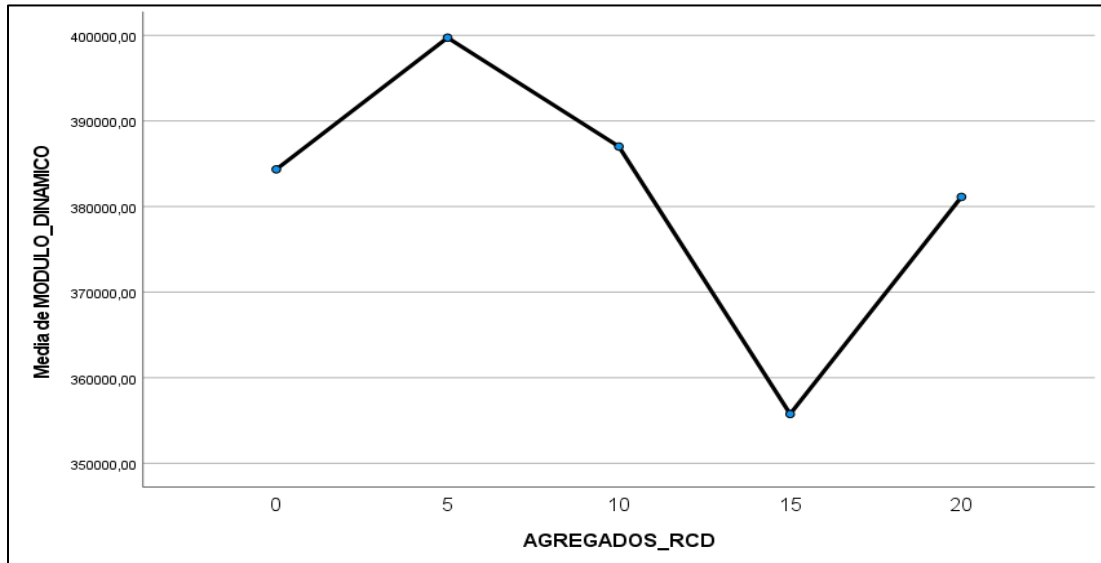
b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

Según los resultados mostrados por la prueba de comparación de parejas arrojados por el software IBM SPSS Statitics versión 28.0 se pudo inferir que; el diseño de mezcla con mejor módulo de elasticidad dinámico resultó ser el porcentaje de agregado correspondiente al 5% de agregado grueso + RCD, seguido con el porcentaje de 15% respectivamente. Según Aragón Torre, 2015, menciona que el módulo de elasticidad dinámica permite medir los cambios progresivos en la rigidez del mortero sin dañar la muestra, con la ventaja de disponer de un amplio rango de datos para su tratamiento estadístico aportando rigor y consistencia a los resultados, comparado con los métodos estáticos. (Aragón Torre, 2015). Con lo anterior, se pudo analizar que, los especímenes de concreto con porcentaje de agregado grueso + RCD al 5% ofrecen una mayor resistencia a la deformación a través de las vibraciones que puede sufrir el concreto sin que se produzca una rotura; es decir, garantiza la firmeza, resistencia y durabilidad ante una fuerza vibratoria sobre la infraestructura ya sea por cualquier circunstancia.



Gráfica 13.

Comparación de promedios de los módulos de elasticidad dinámico (kg/cm^2) de los tratamientos (agregados + RCD).



Al verificar la gráfica correspondiente realizado por el software IBM SPSS Statistic versión 28.0 en el que se comparan las medias de cada uno de los ensayos al porcentaje correspondiente de agregado grueso + RCD; se logra apreciar una proporción considerable en el promedio del módulo de elasticidad dinámico con el diseño de mezcla del 5%, lo cual confirman los resultados obtenidos por las comparaciones de parejas. Además, se evidencia por igual que, a medida en que se aumenta el porcentaje de agregado grueso + RCD, disminuirá proporcionalmente el valor del módulo y por ende sería más susceptible a deformarse, sobre todo si se habla del porcentaje 15% respectivamente, pero cuando llega al 20% de agregado grueso + RCD se incrementa nuevamente con una tendencia inferior a su diseño de mezcla anterior. Según (Vidaud, 2016) menciona que el módulo de elasticidad dinámico se basa en la realización de ensayos no destructivos que permiten determinar más que todo la calidad del concreto endurecido; a través de aplicación de pulsos de ultrasonidos, que proporcionan resultados idóneos para saber la resistencia de una infraestructura ante una acción de fuerza no destructiva pero degenerativa en el interior de la mezcla.

A partir de los diseños experimentales realizados en los resultados de los módulos de elasticidad tanto estáticos como dinámicos en el software estadístico, se logra inferir que; el mejor diseño de mezcla con valores idóneos de módulos de elasticidad fue el porcentaje del 5% de agregado grueso + RCD. Esto demuestra que, el diseño de mezcla posee unas buenas características físicas del agregado grueso combinado, en el que, disminuye la porosidad de la mezcla, garantizando el curado de manera óptima y una calidad de mezcla idónea. Además, con este diseño de mezcla permiten dos condiciones; por un lado, ofrecer una mayor resistencia ante la aplicación de una carga axial en su superficie, y, por otro lado, ofrecer una mayor resistencia ante las vibraciones que pueda ocurrir en la infraestructura y que no involucren en la degeneración interna de la misma.

7.4. Etapa 3: Aplicaciones Del Concreto Con Los Diferentes Materiales Reciclados.

Una vez se obtuvieron los datos de la resistencia a la compresión, los módulos de elasticidad y el resultado del diseño experimental, se pretende establecer un análisis acerca de las aplicaciones o usos del concreto producido con agregado grueso procedente de RCD (Residuos de Construcción y Demolición) en la ciudad de Valledupar, teniendo presente la resistencia, aspectos técnicos, económicos y de sostenibilidad ambiental. Con los resultados del diseño experimental, se establece que el mejor diseño de mezcla, es el compuesto por 5% RCD y 95% de agregado natural, mostrando así que corresponde con el promedio de resistencia a la compresión de 23 Mega pascales o 3364 Psi.

Según (Rivera, 2000) la máxima eficiencia de un concreto significará obtener una máxima resistencia a la compresión utilizando el mínimo contenido de cemento. Los concretos pueden ser:

7.4.1. En concreto de alta resistencia (> 30 Mpa o 300 kg/cm²).

Mientras mayor sea la resistencia requerida, menor deberá ser el tamaño máximo del agregado para que la eficiencia sea máxima. Para cada resistencia existe un margen estrecho para

el tamaño máximo por encima o por debajo del cual ser necesario aumentar el contenido de cemento. (Rivera, 2000)

7.4.2. En concretos de baja resistencia (< 17,5 Mpa o 175 kg/cm²),

Entre mayor sea el tamaño máximo del agregado, menor es la cantidad de cemento requerida para obtener mayor eficiencia. (Rivera, 2000)

7.4.3. En concretos de resistencia intermedia (17,5 Mpa a 30 Mpa o 175 a 300 kg/cm²),

Existe un rango amplio en los tamaños máximos (3/4" hasta 3") que pueden usarse para una misma resistencia, en la cual, la cantidad de cemento es mínima para obtener máxima eficiencia. (Rivera, 2000)

En concordancia con los aspectos anteriormente mencionados, se hace un listado de aplicaciones y/o usos del concreto con estas características de resistencia y módulos de elasticidad, según especificaciones técnicas de diseño:

7.4.4. Agregado con 5% de RCD

Para este diseño de mezcla, se obtuvo una resistencia de 23 Mpa. Se recomienda este tipo de concreto con un porcentaje de 5% de sustitución de agregado natural por RCD, en las siguientes obras:

- **Concreto para solados de 3000 a 3300 Psi o 23 Mpa**

Es el concreto simple que se coloca en excavaciones de un escaso espesor, para muros, vigas u otro elemento estructural el cual deberá tener una resistencia a la compresión no menor de 14 Mpa, a los 28 días después de vaciado. (Rivera, 2000)

- **Concreto para vigas y muros simples de 3000 a 3300 Psi o 23 Mpa**

Son estructuras que no ameritan altas resistencias. Se debe precisar que este tipo de estructuras se usan según las necesidades y objetivos de los elementos estructurales. (Rivera, 2000)

7.4.5. Agregado con 10% de RCD

Para este diseño de mezcla, se obtuvo una resistencia de 22 Mpa. Se recomienda este tipo de concreto con un porcentaje de 10% de sustitución de agregado natural por RCD, en las siguientes obras:

- **Cimentación de losa de fondo de tanques**

la losa de cimentación ayuda a reducir los asentamientos variables causados por la construcción en suelos no homogéneos o distribución de carga irregular en la zapata. Para esta estructura la resistencia óptima es no menor a 21 Mpa. (EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN E.P.M, 2016)

- **Andenes peatonales**

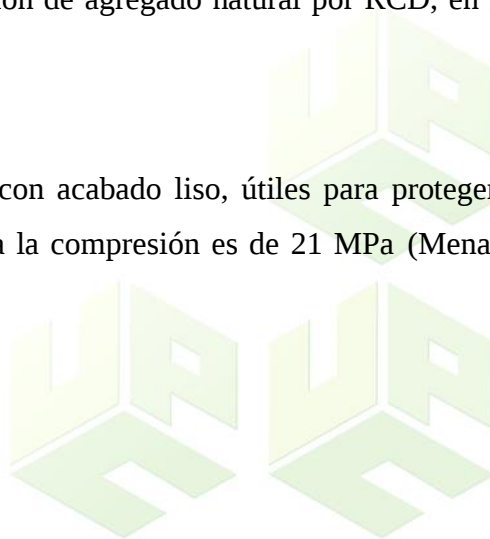
Los andenes de uso peatonal, son estructuras de concreto liviano que deben tener una resistencia mínima de 21 Mpa.

7.4.6. Agregado de 15% de RCD

Para este diseño de mezcla, se obtuvo una resistencia de 21,5 Mpa. Se recomienda este tipo de concreto con un porcentaje de 15% de sustitución de agregado natural por RCD, en las siguientes obras:

- **Topellantas**

Son piezas macizas prefabricadas en concreto con acabado liso, útiles para proteger y delimitar las zonas de parqueo, la resistencia mínima a la compresión es de 21 MPa (Mena & Valdés, 2014).



- **Bloques**

Elementos prefabricados de uso común en la construcción, como es el caso de los bloques huecos de concreto para muros, de acuerdo a lo establecido por la Norma Técnica Colombiana 247; esta norma establece que los bloques para ser utilizados en muros de carga deben presentar una resistencia a la compresión de sección bruta igual o mayor a 4 MPa en promedio (Mena & Valdés, 2014).

7.4.7. Agregado con 20% de RCD

Para este diseño de mezcla, se obtuvo una resistencia de 21,7 Mpa. Se recomienda este tipo de concreto con un porcentaje de 20% de sustitución de agregado natural por RCD, en las siguientes obras:

- **Cimentación de tuberías.**

Las cimentaciones son el conjunto de elementos estructurales que se diseñan y se construyen, con el objetivo de transmitir las cargas de una construcción o elementos apoyados en ella al suelo, distribuyéndolas de tal forma que puedan ser resistidas con seguridad, con asentamientos tolerables y evitando la posibilidad de que se presenten asentamientos diferenciales, el valor de la resistencia de diseño del concreto f'_c , óptimo es de 21 MPa (Claros, 2021)

- **Empotramiento de la tubería por profundidad.**

Las tuberías deben empotrarse o anclarse, en concreto elaborado siguiendo lo descrito en la norma NC-MN-OC07-01 Concretos, donde lo indican que su resistencia óptima es de 21 Mpa. (EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLÍN E.P.M, 2019)



8. Conclusiones

-Se realizaron diseños de mezcla con Residuos de Demolición y Construcción, estableciendo porcentajes de sustitución de estos en 5%; 10%; 15% y 20% respectivamente, a fin de establecer la resistencia a la compresión y así mismo estimar los módulos de elasticidad estático y dinámico.

-Se estableció una relación directa entre los módulos de elasticidad del concreto y la resistencia a la compresión. En este sentido, a medida que aumenta la resistencia a la compresión del concreto, también aumenta los módulos de elasticidad estático y dinámico respectivamente. Esto se debe a que la resistencia del concreto, depende de varios factores importantes, tales como la calidad de los agregados, relación agua/cemento y curado del mismo.

-Se realizó un diseño experimental completamente al azar, se utilizó el software IBM SPSS Statistic versión 28.0. Los resultados obtenidos del diseño experimental, establece que la mezcla de concreto con 5% de agregados de Residuos de Demolición y Construcción (RCD), muestran un mejor comportamiento, ya que esto indica que el material posee una mayor rigidez, siendo su grado de deformación bajo. Esto indica que los módulos de elasticidad dinámico y estático óptimos, son los que corresponden a la mezcla en mención con RCD. Mientras que, los concretos con mayor relación de RCD reduce considerablemente el módulo de elasticidad hasta el 15% RCD, de ahí, el ultimo porcentaje de agregado reciclado correspondiente al 20% recupera módulo de elasticidad, pero sigue siendo inferior al 5% de agregado respectivo.

-Se estimó el coeficiente de correlación lineal de Pearson de los módulos de elasticidad del concreto, obteniéndose una correlación fuerte positiva de 0,71 para el módulo estático y de 0,57 para el módulo dinámico; afirmando que la resistencia a la compresión del concreto y el módulo de elasticidad de este, efectivamente tienen una relación directa.

-En Colombia no existe una legislación clara y precisa que reglamente el uso de Residuos de Demolición y Construcción en obras civiles y/o actividades de la construcción. Pero, se destaca que, ante esas características del concreto con la proporción de agregado de mejor

módulo de elasticidad, puede ser usado para andenes, topellantas, para hacer bloques, y útil para ser concreto aislante, de relleno y para solados.



9. Recomendaciones

-Es indispensable hacer una limpieza optima a los agregados procedentes de RCD, constatar que, en lo posible, la muestra a utilizar en el diseño de mezclas sea la adecuada para evitar errores en cuanto a la dosificación de mezclas y, a la vez, que los agregados RCD sean de forma uniforme.

-Se recomienda sustituir con mayores porcentajes de RCD en los diseños de mezcla del concreto, en aras de estudiar el comportamiento en la variabilidad de la resistencia a la compresión, así como de los módulos de elasticidad del concreto. Es interesante ver el comportamiento de estas dos características, con porcentajes de 50/50 o con porcentajes en los que la sustitución de agregado natural, por agregado procedente de RCD, sea mayor.

-Es importante ampliar los alcances en futuras investigaciones, por tanto, es indispensable estimar resistencia a la compresión y módulos de elasticidad para especímenes de concreto a los 7 días, 14 días y 28 días de curado, a fin de analizar la variabilidad de estas características, con el tiempo de curado.

-Se recomienda realizar controles y/o protocolos de recepción y acopio de RCD en los sitios legalmente constituidos, a fin de que sean aprovechados de manera óptima en plantas trituradoras, para usarse a gran escala para obras civiles que ameriten concretos livianos.



Referencias

- Aragón Torre, G. (3 de noviembre de 2015). Determinación del módulo de deformación dinámico de un mortero de revestimiento a partir de muestras obtenidas en laboratorio e in situ. Tesis doctoral. Burgos, España: Universidad de Burgos. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/92429805.pdf>
- Asprilla et al, E. (2020). Estimación del módulo de elasticidad de concretos modificados con PET, RCD, residuos de vidrio y residuos de llantas: una revisión sistemática de literatura. Universidad Cooperativa De Colombia., 1-14. Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/33043/1/2020_Estimacion_Modulo_ESlasticidad.pdf
- Ayala, I., & Urrego, J. (2020). FABRICACIÓN DE CONCRETO LIVIANO DE 21 MPa APARTIR DE ROCA PÓMEZ EXTRAÍDA DE FLANDES TOLIMA. BOGOTÁ, CUNDINAMARCA, COLOMBIA.
- Bedoya, C. (2003). El Concreto Reciclado Con Escombros Como Generador De Hábitats Urbanos Sostenibles “La ciudad como ecosistema semi-cerrado, una utopía cultural”. Tesis para optar al título de magíster. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Blandón, E., Gálvis, C., Valderrama, A y Vargas, L (2018). Diagnóstico y propuesta de manejo, control y caracterización de los RCD (residuos de la construcción y la demolición) en el municipio de Dosquebradas, Risaralda. Universidad Libre de Pereira. Pereira, Colombia.
- Botero, L. G. (2003). Sostenibilidad de la disposición de escombros de construcción y demolición en Bogotá. Tesis Universidad de los Andes, 97
- Cabarcas Caipa, L. M., & Colpas Macias, J. D. (2020). EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y COMPRESIÓN DE UN CONCRETO ESTRUCTURAL ECOLÓGICO CON FIBRAS PET PROPUESTO CONFORME A LA NORMA NSR-10. Tesis de grado. Barranquilla, Atlantico, Colombia: Universidad de la Costa CUC. Obtenido de <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/7835/EVALUACION%20DE%20LA%20RESISTENCIA%20A%20LA%20FLEXION%20Y%20COMPRESION%20CON%20FIBRAS%20PET%20PROPUESTO%20CONFORME%20A%20LA%20NORMA%20NSR-10.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Cabarcas Caipa, L. M., & Colpas Macias, J. D. (2020). EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y COMPRESIÓN DE UN CONCRETO ESTRUCTURAL ECOLÓGICO CON FIBRAS PET PROPUESTO CONFORME A LA NORMA NSR-10. Tesis de grado. Barranquilla, Atlantico, Colombia: Universidad de la Costa CUC. Obtenido de <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/7835/EVALUACI%C3%93N%20DE%20LA%20RESISTENCIA%20A%20LA%20FLEXI%C3%93N%20Y%20COMPRESI%C3%93N.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castellanos, N. T., & Quiroga, P. N. (2010). Concretos con Agregados Provenientes de Escombros de Construcción y Demolición en Colombia. Asociación Colombiana de Ingenieros, 4.
- Cohen, J. (1988). StatisticalPowerAnalysisfortheBeavioralSciences. Hillsdale.
- CONSEJO MUNDIAL EMPRESARIAL PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE. Reciclando Concreto: CementSustainabilityInitiative (CSI - WBCSD) [en línea] [citado: 21, ago., 2015]. Disponible en Internet: <URL: http://ficem.org/publicaciones-CSI/DOCUMENTO-CSI-RECICLAJEDEL-CONCRETO/RECICLAJE-D-CONCRETO_1.pdf>.
- Cruz, M y Gómez, O (2013) Influencia del Agregado Grueso Reciclado de Mampostería en el Comportamiento del Concreto Reciclado. (Tesis para optar por el título de ingeniero civil). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Delgado, D. (Junio de 2018). Determinación del Módulo elástico del concreto hidráulico a la edad de 14 días, con agregados petreos del Municipio de Técpan de Galeana, Guerrero. Obtenido de https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Civil/vol2num4/Revista_de_Ingenier%C3%ADa_Civil_V2_N4_2.pdf
- Escandón, J (2011) DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. D.C.

- Gaitan, M. (2013). Lineamientos para la gestión ambiental de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogota D.C. (Tesis de posgrado), Pontifica Universidad Javeriana, Bogota.
- Giraldo, L., & Ramos, Y. (01 de 01 de 2014). Diseño de mezcla y caracterización físico - mecánica de un concreto de alta resistencia fabricado con cemento. Proyecto presentado para otorgar el título de ingeniero civil. Cali, Valle del Cauca, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana de Cali.
- Gutiérrez, A., & Cala, L. (01 de 01 de 2015). OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y LA RELACIÓN DE POISSON PARA EN CONCRETOS DE 21 Y 28 MPA EN SEIS DIFERENTES OBRAS UBICADAS EN LA ZONA OCCIDENTAL DE BOGOTA. Trabajo de grado como opción de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Universidad La Gran Colombia. Obtenido de https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3471/Obtenci%C3%B3n_modulo_elasticidad_concretos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Guzenski, F. (2015). Impactos ambientales del sector de la construcción. Recuperado el 18 de 07 de 2017, de <https://goo.gl/SeZLyd>
- Lahura, E. (Enero de 2003). EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN Y CORRELACIONES ESPEÚREAS. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/6445817.pdf>
- Mena, C., & Valdés, Y. (2014). DOSIFIACIÓN ÓPTIMA DE UNA MEZCLA DE CONCRETO CON MATERIALES RECICLADOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) DE LA CIUDAD DE CALI PARA USO EN OBRAS VIALES DE BAJO TRANSITO. Santiago de Cali, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Mendoza Rivera, H. (14 de julio de 2021). Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de Unidad 2: Diseño completamente al azar: http://red.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/html/un2/cont_201-21.html
- Mendoza Rivera, H. (14 de julio de 2021). Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de Unidad 2: Diseño completamente al azar: http://red.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/html/un2/cont_201-21.html

- Niño Hernández, J. R. (2010). Tecnología del concreto – Materiales Tomo 1: Propiedades y Diseño de Mezclas. En J. R. Niño Hernández, Cap 11: Diseño de mezclas de concreto de peso normal (págs. 183-216). Bogotá DC: ASOCRETO.
- Niño Hernández, J. R. (2010). Tecnología del concreto – Materiales Tomo 1: Propiedades y Diseño de Mezclas. . En J. R. Niño Hernández, Cap 11: Diseño de mezclas de concreto de peso normal (págs. 183-216). Bogotá DC: ASOCRETO.
- Palomino, A y Maldonado, A (2018). Sustitución experimental del agregado grueso de origen pétreo, por agregado grueso producto de residuos de construcción y demolición en la ciudad de Bogotá, para la elaboración de concreto hidráulico. (Tesis para optar por el título de ingeniero civil). Universidad Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.
- Quimbay, R. (2011). ESTIMACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO Y DEL MORTERO MEDIANTE TCTM. Obtenido de https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21528/modulo_elasticidad_concreto.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Quisphe y Guevara. (2012). Desarrollo de la metodología para producir bloques huecos de hormigón tipo A que cumpla con las especificaciones técnicas de la norma Inen 643 y su aplicabilidad en la construcción de viviendas populares tipo Miduvi. (Tesis pregrado), Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba.
- Rivera L, G. (2016). Concreto Simple. En G. Rivera L, Cap. 8: Dosificación de mezclas de concreto (págs. 169-197). Cauca: Universidad del Cauca.
- Rivera, G. (2000). Concreto simple. Bogotá.
- Rivera, G. (2016). Concreto Simple. En G. Rivera, Cap 7: Durabilidad del concreto: módulo de elasticidad dinámico (págs. 164-165). Cauca: Universidad del Cauca.
- Rivera, G. (2016). Concreto Simple. En G. Rivera, Cap. 7: Durabilidad del concreto: Módulo de elasticidad estático (págs. 161-163). Cauca: Universidad del Cauca.
- Serrano, M., & Pérez, D. (julio - diciembre de 2010). Análisis de sensibilidad para estimar el módulo de elasticidad estático del concreto. Concreto y cemento. Investigación y desarrollo, 2(1), 17-30. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112010000100002
- Vidaud, E. (2016). ULTRASONIDO: Aplicación para la determinación del módulo de elasticidad dinámico. CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO, 32-35.



Obtenido de <http://www.revistacyt.com.mx/index.php/tecnologia/557-ultrasonido-aplicacion-para-la-determinacion-del-modulo-de-elasticidad-dinamico>

