

Análisis a flexión en viga de hormigón, utilizando una dosificación ideal propuesta con agregados pétreos de las canteras Casa Roja y Capilla, del Municipio de Aguazul, Casanare

Indira Rengifo Martínez

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Civil

Director

Ing. German Hernando Acevedo Calderón

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Arquitectura e Ingenierías

Ingeniería Civil

2021

Dedicatoria

A mis padres, Yolima Martínez y Hernando Rengifo, con mucho cariño y amor dedico este trabajo, por su constante apoyo, guía y comprensión, y ser la razón por quienes lucho por superarme y darles lo mejor.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por haberme brindado del privilegio de contar con una familia virtuosa, quienes han creído siempre en mis capacidades como futura profesional, dándome ejemplo e inculcando los valores de responsabilidad, autonomía y disciplina, llevándome a superarme día a día.

De igual manera, al Semillero INAES y a los Ingenieros Andrea Chaparro y Darío Ramírez, por otorgarme la oportunidad de descubrir lo enriquecedor de desempeñarme como investigadora y por incluirme en el proyecto de Especialización en Interventoría y Supervisión de la Construcción donde surge el producto de investigación para optar la opción de mi proyecto de grado.

A mi director de tesis, el Ingeniero German Acevedo, por siempre estar presente e influir positivamente en cada uno de los logros de esta investigación, y apoyarme en cada una de las adversidades presentadas durante la realización del proyecto de grado aportándome sus conocimientos y comprensión acertando, que: “Educar no es dar carrera para vivir, sino templar el alma para las dificultades de la vida”.

Contenido

Introducción	15
1. Formulación del problema	16
2. Pregunta de investigación	18
3. Antecedentes de investigación.....	18
3.1 Optimización de gradaciones en Colombia.....	18
3.2 Investigaciones basadas en Fuller y Bolomey	21
3.3 Análisis comparativo de gradaciones.....	24
4. Objetivos	27
4.1 Objetivo general	27
4.2 Objetivos específicos	28
5. Justificación	28
6. Hipótesis	29
7. Marco referencial.....	30
7.1 Marco teórico	30
7.2 Metodologías de dosificación	43
7.3 Marco conceptual.....	51
7.4 Marco legal.....	63
8. Metodología.....	67
8.1 Tipo de metodología	67
8.2 Diseño de la investigación	69
8.3 Variables	69
8.4 Lugar	70
8.5 Instrumentos implementados	70

8.6 Procedimiento	70
9. Descripción del Río Charre para la explotación de material de arrastre.....	74
9.1 Generalidades del Río Charre.....	74
9.2 Generalidades de la cantera del Río Charre	77
9.3 Geología	77
9.4 Distribución de tamaño de partícula	81
10. Caracterización técnica del Río Únete para la explotación de material de arrastre...	83
10.1 Caracterización del Río Unete	83
11. Análisis del cumplimiento normativo.....	86
12. Ponderación de normas incumplidas por matriz de análisis	133
13. Diseño de mezcla según el ACI 211.1	140
13.1 Cálculo f'_{cr} (resistencia promedio requerida).....	143
14. Cálculo de cantidades	154
14.1 Cálculo del volumen de la viga.....	154
14.2 Cálculo de materiales para las vigas	155
14.3 Dosificación final para las vigas	157
14.4 Cálculo de material para los cilindros.....	157
14.5 Cálculo de materiales para los cilindros.....	159
14.6 Dosificación final para los cilindros	160
14.7 Comportamiento mecánico de los cilindros.....	161
15. Modelamiento numérico de las vigas	165
15.1 Modelamiento numérico en ETABS viga 1 dimensiones 0.156 x 0.148 [m]	165
15.2 Modelamiento numérico en ETABS viga 2 dimensiones 0.147 x 0.138 [m]	168
15.3 Modelamiento numérico en ETABS viga 3 dimensiones 0.152 x 0.148 [m]	170

16. Discusión de los resultados.....	173
17. Conclusiones.....	176
18. Recomendaciones	180
Referencias.....	182
Apéndices.....	190

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Tipos de cemento</i>	33
Tabla 2. <i>Clasificación general del agregado según su tamaño.</i>	35
Tabla 3. <i>Clasificación de partículas según su forma.</i>	36
Tabla 4. <i>Clasificación de la textura superficial de los agregados.</i>	37
Tabla 5. <i>Requisitos según la clase de exposición.</i>	64
Tabla 9. <i>Análisis de las pruebas de laboratorio.</i>	86
Tabla 10. <i>Análisis del cumplimiento normativo arena triturada Río Únete</i>	88
Tabla 11. <i>Análisis del cumplimiento normativo arena triturada Río Charte</i>	90
Tabla 12. <i>Ensayo de granulometría triturado tamaño ½” y ¾” cantera de Río Charte</i>	92
Tabla 13. <i>Ensayo de granulometría triturado tamaño ½” y ¾” cantera de Río Únete.</i>	96
Tabla 14. <i>Análisis de ensayo equivalente de arena para la cantera Casa Roja Río Únete</i>	99
Tabla 15. <i>Análisis de ensayo de equivalente de agregados finos cantera del Río Charte.</i>	100
Tabla 16. <i>Análisis cumplimiento de la normativa ensayo de resistencia mecánica Únete.</i>	103
Tabla 17. <i>Análisis cumplimiento de la normativa ensayo de resistencia mecánica Charte.</i>	104
Tabla 18. <i>Ensayo de partículas aplanadas</i>	108
Tabla 19. <i>Tabla de análisis normativa de ensayo de partículas aplanadas en el Río Charte.</i> ..	110
Tabla 20. <i>Análisis de los resultados partículas alargadas de la cantera Casa Roja, Únete.</i>	112
Tabla 21. <i>Análisis de los resultados de partículas alargadas para la cantera la capilla</i>	113
Tabla 22. <i>Análisis de los resultados de porcentaje de caras fracturadas cantera Casa Roja.</i> ..	117
Tabla 23. <i>Análisis de los resultados de ensayo de caras fracturadas Capilla del Río Charte.</i> ..	119
Tabla 24. <i>Análisis de ensayo de resistencia al desgaste máquina de los Ángeles, Únete.</i>	122
Tabla 25. <i>Análisis de ensayo resistencia al desgaste máquina de los Ángeles, Río Charte.</i>	124
Tabla 26. <i>Ensayo densidad bulk peso unitario</i>	126
Tabla 27. <i>Análisis de ensayo de la densidad bulk para la cantera la Capilla, del río Charte.</i> ..	129
Tabla 28. <i>Ensayo contenido de material orgánica en arenas para morteros o concretos.</i>	132

Tabla 29. <i>Ponderación de análisis normativo.</i>	134
Tabla 30. <i>Ponderación de la muestra cantera Charte</i>	134
Tabla 31. <i>Matriz de análisis de la normativa no cumplida</i>	135
Tabla 32. <i>Datos diseño de mezcla ACI 211.1</i>	141
Tabla 33. <i>Tamaño del agregado fino según la ASTM C 33 [31]</i>	142
Tabla 34. <i>Proporcionamiento del diseño</i>	153
Tabla 35. <i>Datos de cantidades tabla ACI para el diseño de mezcla</i>	155
Tabla 36. <i>Densidad de los agregados</i>	157
Tabla 37. <i>Peso en kg de los agregados</i>	157
Tabla 38. <i>Dosificación final para las Vigas</i>	157
Tabla 39. <i>Datos de cantidades tabla ACI para el diseño de mezcla</i>	159
Tabla 40. <i>Densidad de los agregados</i>	160
Tabla 41. <i>Peso en kilogramos de los agregados</i>	160
Tabla 42. <i>Dosificación final para los cilindros</i>	161

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Segueta mecánica</i>	40
Figura 2. <i>Contenido de aire</i>	42
Figura 3. <i>Secuencia de diseño-método ACI</i>	45
Figura 4. <i>Relaciones cemento: arena: triturado C: A: T en obra</i>	50
Figura 5. <i>Tipos de vigas</i>	54
Figura 6. <i>Diagrama de momento flector en una viga</i>	55
Figura 7. <i>Diagrama de momento resistente vs curvatura</i>	56
Figura 8. <i>Distribución de esfuerzos en el concreto en compresión de la viga</i>	59
Figura 9. <i>Distribución de esfuerzos para los diversos tipos</i>	60
Figura 10. <i>Diagrama momento-curvatura para los tipos de falla en flexión</i>	60
Figura 11. <i>Etapas de comité de grado para anteproyecto</i>	71
Figura 12. <i>Procedimiento de anteproyecto semillero de investigación</i>	72
Figura 13. <i>Fases de ejecución anteproyecto</i>	73
Figura 14. <i>Localización del tramo y tipo de río</i>	75
Figura 15. <i>Localización del Río Charte</i>	76
Figura 16. <i>Depósitos cuaternarios aluvial reciente Río Charte</i>	81
Figura 17. <i>Material de arrastre Río Charte</i>	82
Figura 18. <i>Localización cantera Casa Roja, Río Unete</i>	83
Figura 19. <i>Cantera Casa Roja, Río Unete ubicada en Aguazul, Casanare</i>	84
Figura 20. <i>Mapa geológico de la cantera Casa Roja, Río Unete</i>	85
Figura 21. <i>Granulometría del agregado fino para concreto estructural</i>	89
Figura 22. <i>Curva granulométrica arena triturada Unete</i>	89
Figura 23. <i>Curva granulométrica de la Capilla de la cantera Río Charte</i>	91
Figura 24. <i>Gráfica granulométrica del triturado tamaño nominal ½” del (Río Charte)</i>	93
Figura 25. <i>Gráfica granulométrica triturado 3/4” La Capilla (Río Charte)</i>	94

Figura 26. <i>Clasificación ASSTHO</i>	95
Figura 27. <i>Especificaciones</i>	95
Figura 28. <i>Gráfica granulométrica triturado 1/2" cantera Casa Roja (Río Únete)</i>	97
Figura 29. <i>Gráfica granulométrica triturado tamaño nominal 3/4" cantera Casa Roja</i>	98
Figura 30. <i>Especificaciones agregado grueso Únete</i>	99
Figura 31. <i>Ensayo de equivalente de arena cantera del río Únete, resultados.</i>	102
Figura 32. <i>Ensayo de equivalentes de arena cantera del río Charte, resultados</i>	102
Figura 33. <i>Ensayo de resistencia mecánica agregado grueso por el 10% finos, Únete</i>	106
Figura 34. <i>Ensayo de resistencia mecánica grueso por el 10% de finos, Charte</i>	106
Figura 35. <i>Especificación de la resistencia mecánica del método 10%, Únete</i>	107
Figura 36. <i>Especificación de la resistencia mecánica del método 10%, Charte</i>	107
Figura 37. <i>Resultados de ensayo aplanamiento en la cantera del Río Únete de 1/2"</i>	109
Figura 38. <i>Resultados de laboratorio de aplanamiento en la cantera Únete de 3/4"</i>	109
Figura 39. <i>Resultado de ensayo de aplanamiento 1/2" de la cantera del río Charte</i>	111
Figura 40. <i>Resultado de ensayo de aplanamiento 3/4" de la cantera del río Charte</i>	111
Figura 41. <i>Resultados de ensayo de alargamiento en la cantera del río Únete, 1/2"</i>	115
Figura 42. <i>Resultados índice de alargamiento en material del Río Únete 3/4"</i>	115
Figura 43. <i>Resultados del índice de alargamiento en material del Río Charte 1/2"</i>	116
Figura 44. <i>Resultados del índice de alargamiento en material del Río Charte, 3/4"</i>	116
Figura 45. <i>Resultados del ensayo de caras fracturadas de la cantera Casa Roja 1/2"</i>	118
Figura 46. <i>Resultados del ensayo de caras fracturadas de la cantera Casa Roja 3/4"</i>	119
Figura 47. <i>Resultados del ensayo caras fracturadas de la cantera del Río Charte 1/2"</i>	121
Figura 48. <i>Resultados del ensayo caras fracturadas de la cantera de La Capilla 3/4"</i>	121
Figura 49. <i>Especificación de la prueba de ensayo de porcentaje de caras fracturadas</i>	122
Figura 50. <i>Prueba de resistencia al desgaste máquina de los Ángeles, cantera Únete</i>	124
Figura 51. <i>Prueba de resistencia al desgaste máquina de los Ángeles, cantera Charte</i>	125

Figura 52. <i>Especificaciones prueba de los Ángeles</i>	126
Figura 53. <i>Resultados del laboratorio ensayo densidad bulk cantera Casa Roja, 1/2"</i>	128
Figura 54. <i>Resultados de ensayo de laboratorio densidad bulk Casa Roja, de 3/4"</i>	128
Figura 55. <i>Resultados del ensayo de densidad bulk La Capilla, 1/2" Río Charte</i>	130
Figura 56. <i>Resultados del ensayo de densidad bulk o La Capilla, Río Charte 3/4"</i>	131
Figura 57. <i>Arena grano medio color café granulometría MF</i>	142
Figura 58. <i>Grava angular color café y blanco con tamaño máximo nominal 3/4"</i>	143
Figura 59. <i>Valores de asentamiento según el tipo de construcción</i>	143
Figura 60. <i>Información técnica CEMEX</i>	144
Figura 61. <i>Selección de la resistencia a compresión para la desviación estándar</i>	145
Figura 62. <i>Selección del contenido de aire atrapado</i>	146
Figura 63. <i>Volumen unitario de agua</i>	146
Figura 64. <i>Relación agua/cemento por resistencia</i>	147
Figura 65. <i>Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto</i>	148
Figura 66. <i>Sección transversal espécimen viga de acero</i>	154
Figura 67. <i>Formaleta de las vigas de 150mm</i>	154
Figura 68. <i>Dimensiones del cilindro</i>	157
Figura 69. <i>Falla a compresión uniaxial cilindro 1</i>	161
Figura 70. <i>Falla a compresión uniaxial cilindro 2</i>	162
Figura 71. <i>Falla a compresión uniaxial cilindro 3</i>	162
Figura 72. <i>Falla a compresión uniaxial cilindro 3</i>	162
Figura 73. <i>Falla a tracción en viga 1 con hormigón simple</i>	164
Figura 74. <i>Falla a tracción en viga 2 con hormigón simple</i>	164
Figura 75. <i>Falla a tracción en viga 3 con hormigón simple</i>	165
Figura 76. <i>Distribución de cargas viga 0.156 x 0.148 [m]</i>	165
Figura 77. <i>Cargas puntuales viga 0.156 x 0.148 [m]</i>	166

Figura 78. <i>Diagrama de momento viga 0.156 x 0.148 [m].</i>	166
Figura 79. <i>Diagrama de cortante viga 0.156 x 0.148 [m].</i>	167
Figura 80. <i>Diagramas viga 0.156 x 0.148 [m].</i>	167
Figura 81. <i>Distribución de cargas viga 0.147x 0.138 [m]</i>	168
Figura 82. <i>Cargas puntuales viga 0.147x 0.138 [m]</i>	168
Figura 83. <i>Diagrama de momento viga 0.147x 0.138 [m]</i>	169
Figura 84. <i>Diagrama de cortante viga 0.147x 0.138 [m]</i>	169
Figura 85. <i>Diagramas viga 0.147x 0.138 [m]</i>	170
Figura 86. <i>Distribución de cargas viga 0.152 x 0.148 [m]</i>	170
Figura 87. <i>Cargas puntuales viga 0.152 x 0.148 [m]</i>	171
Figura 88. <i>Diagrama de momento viga 0.152 x 0.148 [m]</i>	171
Figura 89. <i>Diagrama de cortante viga 0.152 x 0.148 [m]</i>	172
Figura 90. <i>Diagramas viga 0.152 x 0.148 [m]</i>	172

Resumen

El concreto es un material pétreo artificial que se obtiene de la mezcla, en determinadas proporciones de pasta y agregados materiales. “Para lograr las mejores propiedades mecánicas, el concreto debe contar con un esqueleto pétreo empacado lo más densamente posible, y con la cantidad de pasta de cemento necesaria para llenar los huecos que éste deje” [1].

En el presente proyecto de investigación se analizará numéricamente variables tales como resistencia, durabilidad, cantidad de pasta, tipo de falla, en función de la implementación de una dosificación ideal propuesta con los agregados pétreos de las Canteras Casa Roja del Río Únete y La Capilla del Río Charte.

Palabras Clave: Agregados, pétreos, resistencia, durabilidad, dosificación.

Abstract

Concrete is an artificial stone material that is obtained from the mixture, in certain proportions of paste and material aggregates. "To achieve the best mechanical properties, the concrete must have a stone skeleton packed as densely as possible, and with the amount of cement paste necessary to fill the voids that it leaves" [1].

In this research project, variables such as resistance, durability, amount of paste, type of failure will be analyzed numerically, depending on the implementation of an ideal dosage proposed with the stone aggregates of the Casa Roja del Río Join and La Capilla del Charte River.

Keywords: Aggregates, stone, resistance, durability, dosage.

Introducción

El esfuerzo que el hormigón puede resistir como material compuesto está determinado principalmente por las características del mortero (mezcla de cemento, arena y agua), de los agregados gruesos y de la interfase entre estos dos componentes.

Por ello, morteros con diferentes calidades y agregados gruesos con diferentes características (forma, textura, mineralogía, resistencia, etc.), pueden producir concretos de distintas resistencias [1].

La variación de las resistencias de un material como el concreto, pueden afectar drásticamente los comportamientos idealizados en el diseño de los elementos que hacen parte de una edificación. Por lo tanto, el objetivo general del presente trabajo se encuentra relacionado con los parámetros de control de calidad en las actividades de construcción, con las que se pretende identificar falencias y acciones de mejora.

Las actividades desarrolladas en este trabajo hacen parte de una idea general de investigación abordada de manera conjunta entre el programa de posgrado de Especialización en Interventoría y Supervisión de la Construcción y el semillero de Investigación y Análisis en Estructuras y Sismicidad (INAES), entre las facultades de Arquitectura e Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás, seccional Bucaramanga.

En tal sentido, en el presente trabajo de investigación se pretende hacer un análisis a flexión en una viga de hormigón armado con una dosificación ideal propuesta con los agregados pétreos de las canteras Casa Roja y Capilla, tomando como referencia la norma sismo resistente colombiana NSR- 10 y proyectos de investigación enfocados en el estudio de las características físico - mecánicas de los agregados pétreos y en su influencia en el comportamiento de una viga expuesta a pruebas de carga.

Avanzando en el razonamiento, las fases previstas del proyecto consisten en la identificación y documentación pertinente (componentes, agregados, norma técnica, tipos de ensayo), en la segunda fase se analizaron las posibles combinaciones granulométricas con los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio con los agregados pétreos en estudio. Finalmente, se realizan en una prueba de laboratorio a flexión una viga de hormigón armado, detallando su comportamiento al estar influenciada con dichos agregados.

Los resultados obtenidos sugieren, que la respuesta del material al ser sometido a un esfuerzo mecánico está relacionada con su endurecimiento, por lo que tener en cuenta la calidad de los agregados es importante en el cálculo de la relación agua/cemento, puesto que una buena relación garantiza más resistencia y más durabilidad del hormigón ya que la compacidad de la pasta de cemento será mayor y que la normativa NTC 174 es cumplida en su mayoría por la Cantera La Capilla del Río Charte.

1. Formulación del problema

Los agregados son un componente dinámico dentro de la mezcla, aunque la variación en sus características puede ocurrir también durante los procesos de explotación, manejo y transporte. Y puesto que forman la mayor parte del volumen del material, se consideran componentes críticos en el concreto y tienen un efecto significativo en el comportamiento de estructuras (1993).

La necesidad de contar con un hormigón de calidad hace indispensable conocer a detalle sus componentes, ya que tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las propiedades físicas y químicas de ellos, especialmente de los agregados. Sin embargo, uno de los problemas que generalmente se encuentran en la Ingeniería Civil al emplear el hormigón es la “poca verificación de las características de los agregados pétreos que se

utilizan, lo que propicia con cierta frecuencia resultados diferentes a los esperados”. (Cerón et al. 1996). Durante los últimos años, el uso de materias primas en el Municipio de Aguazul ha sido relevante, según la alcaldía municipal, se están extrayendo dichos agregados de diecisiete canteras licenciadas en Casanare, para usarlos en las mezclas de hormigón.

Dos de estas canteras son las del río Charate y la cantera del río Unete. Resaltando los aspectos anteriormente mencionados, en las obras civiles ejecutadas en el municipio de Aguazul, se identifica que pese al correcto uso de las dosificaciones de material empleadas se presentan patologías estructurales, obteniendo resultados de prueba de fallo no esperados, ya que ningún material de las dos canteras en estudio cumple los límites granulométricos establecidos por la NTC 174.

Por lo anterior, se evidencian malas gradaciones en los resultados de pruebas hacia los agregados tomando como base la teoría de Fuller o Bolomey de agregados para concreto estructural. Dichos acontecimientos, se presenta un incremento en costos en los proyectos, impacto ambiental al producir mayor dióxido de carbono (CO₂) ya que las dosificaciones al no presentar resistencias adecuadas requieren más cantidad de cemento, estados límites de servicio y últimos no cumplidos, generando una incertidumbre e inseguridad a las construcciones.

Para determinar la influencia de los agregados en la resistencia y comportamiento de elementos de hormigón armado se han desarrollado investigaciones como las de Bracamonte y Chan. La investigación de Bracamonte estudia la variabilidad de las características físico – mecánicas de los agregados que se producen en la formación geológica Toluviejo y define un marco de confiabilidad estadística entre variables físico – mecánicas de estos agregados y su influencia en las características del hormigón que se produce en el departamento de Sucre, pero no se realizan pruebas de carga o fallo a compresión ni a flexión en el análisis.

Por otra parte, la investigación de Chan presenta el estado del arte sobre los agregados y su influencia en las características del hormigón tanto en estado fresco como endurecido. Sin embargo, tal como en la investigación anteriormente mencionada no se realizan pruebas de laboratorio donde se analice desde una fase práctica los agregados estudiados y su influencia en el comportamiento en un elemento de prueba.

Lo anterior permite evidenciar, que realizar una prueba de una viga en hormigón a flexión llevaría a un análisis práctico, generando conclusiones respecto a la resistencia implementando los agregados de las canteras en estudio, y así proponer mejoras y recomendaciones para optimizar desde la caracterización de materiales las obras civiles ejecutadas en el municipio, comprobando la factibilidad de la dosificación propuesta y que los agregados aseguran durabilidad y resistencia del hormigón.

2. Pregunta de investigación

¿La implementación de agregados que cumplen las especificaciones técnicas en el planteamiento de una dosificación regida por la ACI 211 influiría positivamente en el comportamiento mecánico de los especímenes fallados en laboratorio?

3. Antecedentes de investigación

3.1 Optimización de gradaciones en Colombia

Los antecedentes de investigación estarán divididos en tres ejes conceptuales en los que se encontrarán estudios acerca de la optimización de gradaciones a nivel nacional, estudios de Fuller y Bolomey y finalmente, proyectos donde se analicen y comparen gradaciones hechas en los agregados de canteras en estudio.

En el caso del proyecto de Herrera y Vargas trata al hormigón como una mezcla de agregados pétreos, agua y cemento en determinadas proporciones, que tiene como función principal, en términos estructurales, resistir esfuerzos de compresión. “Para lograr mejores propiedades mecánicas del hormigón es necesario contar con un esqueleto pétreo empacado lo más densamente posible” [8].

De igual forma, los autores mencionan que con el pasar del tiempo se han ido usando materiales para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, uno de esos materiales son los aditivos. Los aditivos son ingredientes del concreto o mortero que, además del agua, agregados, cemento hidráulico y, en algunos casos, fibra de refuerzo, son adicionados a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado.

Se utilizan con el objeto de modificar las propiedades del concreto o mortero, ya sea en estado fresco, durante el fraguado o en estado endurecido, para hacerlo más adecuado según el trabajo o exigencia dada y para que cumpla los requisitos y especificaciones particulares de cada tipo de estructura tal como Silva lo dice [8].

Se realizan ensayos fisicoquímicos a los agregados pétreos, para poder ingresar esta información al Método Walker y poder obtener una dosificación a una resistencia específica. Esta dosificación tuvo una variación, se redujo la cantidad de cemento y se aumentó la de arena en la misma proporción, adicionalmente se añade una dosis de aditivo en función de la cantidad de cemento que arroja el Método Walker.

Posteriormente los autores fabrican cilindros de concreto con estas variaciones para fallarlos a los 28 días y analizar cuál fue la resistencia obtenida para cada cilindro teniendo en cuenta su dosificación y la cantidad de aditivo con el que se fabricó.

Para el desarrollo de este proyecto se hizo uso de un aditivo experimental, en el cual el fabricante establece las bondades de su producto como un compuesto que mejora las

propiedades mecánicas del concreto reduciendo la cantidad de cemento a emplear en las mezclas. Los requerimientos actuales para obtener concretos más eficientes, hace que sea una necesidad seguir indagando sobre nuevos productos que hagan un aporte significativo al rendimiento de este material, por esto es un antecedente de gran importancia en la investigación en curso.

Por otra parte, se encuentra el proyecto de investigación realizado por Sánchez y Ardila, el cual consta de una fase investigativa práctica acerca del comportamiento a compresión y de las propiedades físicas y mecánicas, de un concreto modificado con escorias aceradas provenientes de diferentes procesos industriales tales como, cortes, torneado, limado y fresado del acero, estos procesos se realizan en equipos como tornos y seguetas mecánicas [12].

Partiendo de la caracterización de todos los materiales utilizados, con el fin de conocer sus propiedades, se realizaron tres diseños de mezcla, los cuales se compararon con un diseño de mezcla convencional el que se tomó como diseño patrón; el diseño convencional o patrón se tomó como base y se modificó reemplazando el agregado fino por escoria en porcentajes de 10%, 20% y 30%.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado los autores realizaron 19 probetas con el fin de averiguar su resistencia a compresión a las edades de 7, 14, 28 y 90 días; dejando estos últimos de 90 días, como testigos en caso tal de no obtener la resistencia de diseño a los 28 días. Luego de los tiempos de curado se fallaron los especímenes obteniendo resultados que evidenciaron que el primer diseño cumplía con la resistencia proyectada o teórica. De igual forma, uno de los diseños (el cuarto) fue el que evidenció la mayor resistencia a compresión y también fue el diseño más económico en su producción por metro cúbico.

3.2 Investigaciones basadas en Fuller y Bolomey

En este apartado se resalta el proyecto de investigación realizado por Altafaja. Donde el autor define que “el hormigón es uno de los materiales más importantes en la construcción, ya que es de gran utilidad al ser muy polivalente”. La búsqueda de nuevos materiales avanza y la mejora de otros aún está en proceso. Es por esto por lo que se realiza este estudio, para conseguir dosificaciones óptimas y mucho más resistentes disminuyendo el agua y añadiendo fluidificante, y siempre que sea posible cumpliendo la normativa vigente correspondiente a la Instrucción del Hormigón Estructural (EHE-08) [2].

Se han preparado y analizado diferentes muestras en diferentes condiciones ambientales y edades de envejecimiento, y así poder determinar sus propiedades, más concretamente, estas modificaciones en las muestras surgen de disminuir la cantidad de agua incorporando pequeñas dosis de fluidificante.

Para entender bien los cambios en las diferentes dosificaciones realizadas, en los primeros capítulos se hace un estudio a nivel general del hormigón, de los materiales usados y su caracterización, así como los ensayos realizados. Y ya por último se hace una recogida de los resultados y las interpretaciones que se han hecho. Después de muchas pruebas se ha conseguido encontrar las dosificaciones reduciendo el agua en proporción con el aumento de fluidificante.

De igual modo, el autor define que, aunque algunas resistencias son bajas, se han hecho diferentes pruebas para comprobar algunos errores supuestos y se ha comprobado que el fluidificante utilizado no era el correcto, entre otras.

Queda claro que la línea de investigación iniciada tiene sentido en cuanto a intentar encontrar de manera experimental qué reducciones se pueden conseguir disminuyendo la proporción de agua, al mismo tiempo de variar los tipos y cantidades de fluidificantes para

mantener las propiedades del hormigón, siempre bajo normativas. Conseguir encontrar las combinaciones adecuadas es una tarea que requiere mucho más tiempo y recursos materiales que los que se han podido poner al alcance del estudiante para este proyecto pero que muestran de forma evidente cómo llevar a cabo la experimentación en este terreno.

Ciertas decisiones, en definitiva, ciertas hipótesis tomadas al principio del proyecto, como ha sido el decantarse por un determinado tamaño de árido, serían las herramientas de partida para continuar el estudio y obtener más datos a partir de la creación de muchas más probetas que permitieran estrechar el círculo e irlo cerrando hasta llegar a determinar las composiciones viables. Esta es la percepción del estudiante que ha podido comprobar de primera mano en cuanto complejos y laboriosos son los trabajos experimentales y la forma de avanzar en el proyecto poniendo los conceptos teóricos al frente de la experimentación.

Por otra parte, Gaded propone un artículo de investigación en el que se presenta un resumen de una nueva teoría sobre dosificación de hormigones que ha permitido llegar a algunos resultados prácticos y teóricos.

Como resultado, se obtiene por el cálculo de la ecuación granulometría continua y en el caso de dosificación discontinua la determinación del método a seguir con la granulometría más conveniente, el establecimiento de fórmulas bastante aproximadas para el agua de amasado, y de otras fórmulas que dan para toda una serie de dosificaciones diferentes hormigones de idénticas cualidades bajo el doble punto de vista del transporte y la colocación; y, finalmente, y en lo que al aspecto teórico se refiere, la obtención de la granulometría correspondiente a la dosificación de Bolomey, y la demostración de que tanto esta granulometría como la de Fuller, no son sino casos particulares, y que en algún caso pueden coincidir, de una ecuación más general con un parámetro.

Por consiguiente, se obtienen sobre los hormigones permeables una advertencia de la preponderante influencia ejercida por la superficie de los áridos sobre las cualidades del hormigón, llegando a la conclusión de que, para explicarse bien el papel que juega la granulometría en las propiedades del hormigón, era preciso introducir, además del concepto corrientemente empleado del porcentaje de huecos, el de la superficie de los áridos.

De igual forma, el autor Gonzales presenta una investigación en la que se muestra un diseño alternativo de mezclas basado en la combinación de áridos de las canteras Río Cumbaza y Río Huallaga, de manera que podamos sustituir la piedra de mala calidad por piedra del Río Cumbaza buena calidad del río Huallaga, y resultados más satisfactorios obedeciendo a las limitaciones NTP para agregados.

El nivel elegido para el desarrollo de esta tesis es el "Método Agregado Global y Finura del Módulo" que se basa en un procedimiento experimental, e incide en una mayor optimización del tamaño de grano del agregado global (mezcla de agregado fino y grueso) [5].

El principal modelo estadístico utilizado es la línea de no regresión (para correlacionar experimentalmente la Resistencia a la compresión vs. El cemento agua tiene como finalidad determinar el grado de variabilidad entre los valores encontrados experimentalmente, y los establecidos por el Comité ACI 211, y el IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento y Concreto) para diseñar mezclas de hormigón.

La hipótesis era cierta, ya que se demostró que el método propuesto presentaba ventajas sustanciales frente al método ACI delgado, especialmente cuando se trabaja con agregados de baja resistencia y mala distribución granulométrica, que es la realidad del medio, y obliga a buscar diseños alternativos. Mediante métodos de dosificación que permitan optimizar la calidad mediante la combinación de áridos de canteras, y esto puede

reducir estas deficiencias. La aplicación de este método permitió determinar por razones técnicas la combinación más apta para utilizar estas dos canteras específicamente con esta combinación teniendo un agregado global de buena resistencia mecánica.

Esto dado por la presencia de la Piedra del Río Huallaga, y en el por otro lado, una distribución de tamaño de partícula general aceptable. La optimización de la resistencia granulométrica que se obtuvo al mezclar estas dos canteras permitió obtener resultados muy aceptables, ya que se trataba de resistencias considerables cantidades de cemento de menor compresión, los que generalmente se utilizan en nuestro medio. Por estas razones, esta tesis es un aporte más en el avance y Mejoramiento de la Tecnología Local del Concreto, logrando un avance significativo en esta rama de la Ingeniería Civil.

3.3 Análisis comparativo de gradaciones

En este proyecto de investigación los autores Gómez, Baquerizo, Julio y Vera realizan un análisis comparativo de diferentes diseños de hormigón para la fabricación de adoquines con material propio de cuatro canteras de la provincia de Santa Elena. Los resultados obtenidos de los ensayos previamente realizados en el laboratorio de suelo a los agregados pétreos de las canteras, permitirá la elaboración de adoquines de hormigón generando una fuente de trabajo para los comuneros del sector, a su vez contar con un material de uso alternativo, dicho material deberá poseer buenas propiedades físicas-mecánicas para su producción. Además, se espera que el presente trabajo sirva como base para el estudio investigativo de las canteras de la provincia y el uso correcto del material en las diferentes áreas constructivas.

Se realizaron varias alternativas de diseños de hormigón para adoquines, cuyas resistencias a la compresión obtenida a los 28 días. De igual forma, se determina que el

material de cantos rodados de los ríos de Manantial de Guangala, Salanguillo, Bellavista y Cerezal son aptos para ser utilizados en la elaboración de adoquines de hormigón de baja resistencia para uso peatonal, cumpliendo la resistencia mínima exigida en la norma INEN 1488, dando 210 kg/cm³.

Por otra parte, se demostró que los diseños de hormigón elaborado con los agregados ocales con y sin adición de aditivos obtuvieron resistencias similares, pero menor resistencia al diseño realizado con piedra caliza con y sin adición de aditivo, siendo la resistencia en el diseño sin aditivo menor a un 9% y en el diseño con aditivo menor a un 16%.

Finalmente, los autores analizan que los áridos de cantos rodados no cumplen los requisitos para adoquines de tránsito liviano (30MPa) por su forma redondeada y por carecer de aristas que permitan una mejor adherencia. El uso de estos áridos es apto para uso de adoquines arquitectónicos o de uso peatonal, como en parques, caminatas, jardinerías, etc, con resistencia de 21MPa realizando un control de calidad y de almacenamiento del mismo.

Por otra parte, está el trabajo los autores Pacanchique, Guiza y Ojeda trabajaron desde la modalidad de monografía para optar por el grado de tecnología en construcciones civiles. Este proyecto consistió en un estudio de un árido pedregoso, en concreto grava, que se utiliza en la fabricación de hormigón hidráulico. Este agregado estudiado proviene de centros de acopio ubicados en el municipio de Subachoque y en la localidad de Usme.

Cabe resaltar, que la investigación se desarrolló con el fin de caracterizar el material y comparar la composición mineralógica del agregado de piedra de los centros de recolección mencionados anteriormente. Mediante un estudio petrográfico se define el porcentaje de minerales que componen mayoritariamente la grava y que se libera más reactivo al agregado alcalino.

Terminado el estudio se define que la grava más reactiva a la acción al álcali agregado es del centro de recolección de Subachoque por su alto contenido en sodio (Na), potasio (K) e hidróxidos (OH) y también por sus características físicas. se concluye como el más Adecuado para la elaboración de un hormigón hidráulico según los laboratorios realizados.

Al momento de realizar restauraciones a monumentos históricos, se deben utilizar materiales que posean propiedades físicas y mecánicas similares a los que fueron usados para construir la estructura original, con el fin de que se conserve una armonía estética y se restablezca la continuidad de sus formas. Según la literatura los monumentos históricos de la ciudad de Cartagena fueron construidos con materiales obtenidos de canteras cercanas, en especial su cordón amurallado, por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue confirmar este hecho y demostrar que el material utilizado para la construcción de las murallas provino de Tierra Bomba [6].

Adicionalmente, Fernández y Palencia compararon las propiedades físicas y mecánicas del material rocoso que constituye la estructura de las murallas y el utilizado para su restauración, y comprobar si dicho material es óptimo para restaurar este tipo de obras. Para su cumplimiento, se desarrolló una investigación de tipo mixto en la cual se realizó una revisión bibliográfica del tema, ensayos de laboratorio al material rocoso de canteras de la isla de Tierra Bomba para conocer propiedades importantes como la Densidad, Desgaste, Resistencia a la Compresión y Porosidad, también se utilizó información secundaria para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del material constitutivo de las murallas y el utilizado para su restauración [3].

Como resultado de esto, se encontró que el material extraído de canteras de Tierra Bomba es 63,44% menos resistente que el de coloncito y coincide solo con la zona 3 de las

murallas, (Baluarte Santiago al Baluarte San Francisco Javier), con una resistencia a la compresión de 110,52 kg/cm² y porcentaje de desgaste del 33,70 %. La diferencia porcentual entre densidades es de 1,43% y 0,25% para la porosidad total. El material de Coloncito coincide con la zona 2, (Baluarte La Merced al Baluarte Santiago), con diferencias porcentuales de densidades de 1,75%, resistencia a la compresión 6,99% y porosidad total de 1,75%. Estos resultados confirman la utilización del material de la isla de tierra bomba en la construcción de las murallas de Cartagena y avala la utilización del material de coloncito para obras de restauración.

Finalmente, Ramírez presenta un proyecto de investigación donde se verifica cómo ha sido el cumplimiento de las resoluciones 1457 de julio de 2010, 6981 de diciembre de 2011, 1198 de septiembre de 2015 así como los del decreto 442 de 2015 y 265 de 2016, sobre la disposición de neumáticos usados, en segundo lugar, investiga qué normativa se está utilizando a nivel nacional y finalmente realizar un comparativo a nivel de parámetros de las normas y especificaciones vs el proyecto de norma técnica, siendo de gran ayuda ya que manejan un análisis en el cumplimiento de la normativa especificada que involucra a materiales pétreos [11].

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Analizar la influencia de una dosificación ideal de los agregados pétreos de la Canteras Casa Roja del Río Únete y de la Cantera La Capilla del Río Charte, basada en pruebas granulométricas ASOCRETO, en el comportamiento mecánico de una viga en hormigón.

4.2 Objetivos específicos

- Verificar el cumplimiento de los parámetros físico – mecánicos en las pruebas de laboratorio realizados con los agregados pétreos de la Cantera Casa Roja del Río Únete y de la Cantera La Capilla del Río Charte, bajo los requerimientos establecidos por la NTC para los agregados pétreos del concreto.
- Ponderar las implicaciones de los parámetros no cumplidos estipulados en la NTC 174, de los agregados pétreos de la Cantera Casa Roja del Río Únete y de la Cantera La Capilla del Río Charte, mediante una matriz de análisis.
- Realizar la dosificación ideal para una mezcla de hormigón de 21 Mpa en base al procedimiento ASOCRETO, para los agregados pétreos de la Cantera Casa Roja del Río Únete y de la Cantera La Capilla del Río Charte.
- Evaluar el impacto de la dosificación propuesta bajo la normativa ACI 211.1 en el comportamiento mecánico del concreto sometido a flexión bajo los lineamientos de la NTC 174, ensayo a tracción.

5. Justificación

La propuesta teórica – práctica del proyecto de investigación, será el análisis de la influencia de la propuesta de una dosificación ideal de granulometría en los agregados pétreos de las canteras Unete y Charte, desde la prueba de carga a flexión en una viga de hormigón armado. Este análisis permitirá validar desde la comprobación, qué tan optimizada resultaría la mezcla de hormigón implementada durante el proceso de prueba a flexión de elemento tipo viga. Efectivamente, el trabajo de investigación permitirá la comprensión de las características físico – mecánicas de los agregados y su importancia en los resultados

esperados en la ejecución de obras civiles, lo cual se traducirá en una mejora importante en la investigación, práctica e innovación de la construcción en Aguazul, Casanare.

Adicionalmente, el proyecto a realizar constituye un aporte crucial en la conformación de una matriz de análisis en las que se mencionarán aspectos derivados al no cumplimiento de los parámetros normativos de granulometría y gradación.

El proyecto que se propone también permitirá validar desde una fase práctica las aportaciones de los estudios físico – mecánicos de los materiales como punto crucial en la resistencia y durabilidad final del hormigón, e igualmente brindando más seguridad a las estructuras reduciendo la incertidumbre.

Finalmente, el proyecto pretende generar un acercamiento a un análisis de control de calidad a los parámetros que se deben cumplir por normativa y a una posible relación con Rojas, C & Peralta, F (2020). “patologías en el concreto” tal como se describe en el proyecto de especialización realizado desde la universidad.

6. Hipótesis

Según Sampieri ya planteado el problema de investigación, revisada la literatura y contextualizado dicho problema mediante la construcción del marco referencial, se procede a plantear la hipótesis, teniendo en cuenta que esta, indica lo que se trata de probar en el proyecto de investigación [14].

Teniendo en cuenta que el proyecto de estudio de acuerdo a su alcance es tipo correlacional y cuantitativo, la hipótesis se hace fundamental en la ejecución de la investigación en general. En este caso, se analizarán más de dos variables planteando como la causa o variable independiente a la aplicación de la dosificación ideal en una prueba de fallo en una viga de hormigón, y de igual forma, los efectos y variables dependientes variarían

con el cumplimiento de los objetivos específicos ya sea en aspecto de resistencia, durabilidad, necesidad de pasta, tipo de falla, y demás.

Por lo tanto, se plantea la siguiente hipótesis:

La dosificación ideal propuesta según los parámetros estipuladas por asocreto, permitirá que la viga de hormigón presente un comportamiento apto, y demostrando una resistencia mayor. De esta manera, se evitará que se requiera una mayor cantidad de pasta y que se emita mayor dióxido de carbono en los procesos constructivos, logrando una gestión en la calidad del hormigón.

7. Marco referencial

7.1 Marco teórico

El aporte teórico requiere una estructura fija y específica en cuando al enfoque del proyecto de investigación, por lo que el marco tiende a clasificarse por temáticas que se relacionan directamente con los objetivos y la formulación del proyecto.

7.1.1 Hormigón

Se le conoce como hormigón o concreto, a este material artificial utilizado en construcción y que se obtiene de una mezcla de cemento portland, agua y materiales inertes, unos refinados, como la arena, y otros bastos como el piedrín y/o grava, así como un pequeño porcentaje de aire.

La grava constituye entre el 60 y 80 por ciento del volumen y una pasta cementante endurecida formada por cemento hidráulico con agua, que con los vacíos forman el resto.

El concreto es un material durable y resistente, pero, dado que se trabaja en su forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma. Las propiedades del concreto son sus características o cualidades básicas. Tal como lo dijo García, las cuatro propiedades principales del concreto son su trabajabilidad, cohesividad, resistencia y durabilidad [12].

7.1.1.1 Trabajabilidad. La trabajabilidad o manejabilidad del hormigón es aquella propiedad que indica la capacidad que tiene este para permitir una adecuada colocación y compactación en los lugares donde sea dispuesta su utilización [12].

7.1.1.2 Consistencia. La plasticidad es la capacidad que tiene la mezcla de hormigón para ser fácilmente moldeada, debido a lo anterior las mezclas que se encuentran de una manera muy fluida o con una consistencia muy seca, no son consideradas plásticas.

7.1.1.3 Fraguado del hormigón. El fraguado del hormigón es el proceso durante el cual la mezcla adquiere su primer endurecimiento determinando así el tiempo durante el cual podrá ser transportado y manejado sin causar efectos en su resistencia. Este tiempo es determinado midiendo la resistencia a la penetración presente en una muestra de mortero colocado en un recipiente.

Uno de los factores que más afecta el tiempo de fraguado, es la temperatura del ambiente, ya que este incide directamente en la pérdida o conservación del calor de hidratación de la mezcla [12].

7.1.1.4 Curado del hormigón. Según Ardila el proceso de curado consiste en conservar las condiciones óptimas para garantizar que la hidratación del cemento se realice

completamente; para esto el hormigón es recubierto en su totalidad con agua con el fin de que todas las partículas de cemento estén en contacto con el agua y logren su total hidratación [1].

7.1.1.5 Resistencia del hormigón. La principal característica en cuanto a la resistencia del hormigón hace referencia a la resistencia a compresión, ya que este material cuando se encuentra en su estado endurecido es capaz de soportar grandes cantidades de esfuerzo a compresión en relación con la poca cantidad que logra soportar en cuanto a esfuerzos a flexión.

La resistencia del hormigón es uno de los parámetros más importantes en cuanto al diseño de las estructuras en las cuales se emplea este material, por esta razón se busca que al momento de su fabricación se logre obtener la resistencia para la que fue diseñado.

Alguno de los factores que pueden influir en la resistencia durante el proceso de fabricación del hormigón son: la relación agua / cemento; el tamaño máximo del agregado grueso; el fraguado del hormigón; la temperatura, entre otros [11].

7.1.2 Cemento

Según Sánchez se puede definir el cemento como un material aglutinante gracias a que posee propiedades de adherencia y cohesión las cuales permiten unir partículas entre sí, para formar un único elemento compacto, con resistencia y durabilidad; cabe anotar que esta definición no aplica únicamente para el cemento, ya que puede ser aplicada de igual manera para cales, asfaltos o alquitranes.

El cemento es fabricado a partir de materiales minerales calcáreos, entre los cuales se puede encontrar la caliza, el yeso, la alúmina y la sílice, estos materiales se encuentran

naturalmente como arcilla; en algunas ocasiones se agregan óxido de hierro con el fin de mejorar la composición química de las materias primas [11]. En la tabla 1 se muestran los tipos de cemento.

Tabla 1. *Tipos de cemento*

	Tipo de cemento	Componente (%)							Características generales
		C3 S	C2 S	C3 A	C4A F	CaS O	Ca O	Mg O	
I	Normal o regular	49	25	12	8	2,9	0,8	2,4	Todo uso
II	Modificado	46	29	6	12	2,8	0,6	3	Liberación de menos cantidad de calor.
II I	Alta resistencia o temprana edad	56	15	12	8	3,9	1,4	2,6	Consigue la resistencia a pocos días
I	Bajo calor de hidratación	30	46	5	13	2,9	0,3	2,7	Presas de concreto. Se consigue por encargo especial
V	Bajo calor de hidratación	30	46	5	13	2,9	0,3	2,7	
V	Resistencia a sulfatos	43	36	4	12	2,7	0,4	1,6	Alcantarillado.

Nota: Muñoz, J. (2001), enumera el tipo de cemento que se puede usar con los porcentajes y características generales de la implementación [3].

7.1.3 Agregados

El concreto se encuentra compuesto entre un 70% y 80% por el volumen de los agregados por esta razón muchas de sus características y propiedades influirán directamente en el comportamiento de la mezcla de concreto.

Los agregados también pueden ser llamados como áridos, entendiendo estos como materiales inertes, con formas naturales, que al momento de ser aglomerados con el material cementante y en presencia de agua forman una masa compacta conocida como concreto.

“Aproximadamente un 80% del peso del concreto u hormigón está compuesto por partículas de origen pétreo, de diferentes tamaños, material denominado usualmente como agregados, áridos o inertes.” Los agregados naturales se clasifican en finos y gruesos. Los agregados finos o arenas, son aquellos que pasan el tamiz No. 4 y quedan retenidos en el tamiz No. 200, mientras que los agregados gruesos o gravas, son aquellos que pasan el tamiz 6,35 mm y quedan retenidos en el tamiz No. 4.

“Estos últimos presentan mejores propiedades de adherencia con la pasta de cemento cuando son triturados, ya que estas partículas, presentan aristas que logran mejorar la fricción en la interface pasta - agregado.”

7.1.3.1 Clasificación de los agregados. Los agregados pueden ser clasificados de diferentes maneras teniendo en cuenta su tamaño, su procedencia, su forma, su textura, sus propiedades químicas, entre otros. A continuación, se explican algunos de los más relevantes:

7.1.3.1.1 Clasificación según su Tamaño. Generalmente esta es la forma más común de clasificar los agregados y fue la utilizada en la presente investigación, teniendo en cuenta tamaños que van desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros (granulometría).

Los agregados que cuentan con tamaños inferiores a 4,76 mm (tamiz No. 4) y superiores a 0.074 mm (tamiz No 200), son considerados agregados finos (arena).

Los agregados que tienen un diámetro superior a 4,76 mm (tamiz No. 4) son considerados como agregados gruesos (grava). En la tabla 2 se encuentra la clasificación.

Tabla 2. *Clasificación general del agregado según su tamaño.*

Tamaño de las partículas en mm	Denominación más corriente	Clasificación	Clasifi/ como agregado para concreto
Inferior a 0,002, entre 0,002 - 0,074 (No 200)	Arcilla & Limo	Fracción muy fina	No recomendable
Entre 0,074 - 4,76 (No 200) - (No 4)	Arena	Agregado fino	Material Apto para producir concreto
Entre 4,76 - 19,1 (No 4) -(3/4")	Gravilla	Agregado grueso	Material Apto para producir concreto
Tamaño de las partículas en mm (Pulgadas).	Denominación más corriente	Clasificación	Clasificación como agregado para concreto
Entre 19,1 - 50,8 (3/4") - (2"); Entre 50,8 - 152,4 (92") - (6"); Superior a 152,4 (6")	Grava; Piedra; Rajón, piedra bola.	Agregado grueso	Material Apto para producir concreto

Nota: Fue publicada en el proyecto de Montejó, A. (2013). Tecnología y patología del concreto armado. Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C, Colombia. P. 96, incluye la clasificación según el tamaño de partículas y cómo se clasifica en el concreto [15].

7.1.3.1.2 Clasificación según su procedencia. Los agregados pueden ser clasificados como agregados naturales o agregados artificiales, según sea su procedencia.

- Los agregados naturales son aquellos que provienen de la explotación de los recursos naturales no renovables. Estos agregados se encuentran de manera natural en depósitos fluviales (arenas y gravas de río), o en canteras de diversos tipos de roca.
- Los agregados artificiales son producto de procesos industriales y entre estos pueden considerarse el Clinker, las limaduras de hierro, escorias de alto horno entre otros. En la tabla 3 se encuentra la clasificación según la forma.

Tabla 3. *Clasificación de partículas según su forma.*

Clasificación	Descripción
Redondeada (Frotam/)	Totalmente desgastada por el agua o completamente limitada por ella.
Irregular	Irregular natural o parcialmente limitada por frotamiento y con caras redondeadas.
Angular	Posee caras bien definidas, que se forman en la intersección de caras más o menos planas.
Escamosa	Material en el cual el espesor es pequeño (laminar) relación con las otras dimensiones.
Elongada	Material normalmente angular, en el cual la longitud es considerablemente mayor que las otras dos dimensiones.
Escamosa y elongada	Material cuya longitud es considerablemente mayor que el ancho y este es considerablemente mayor que el espesor.

Nota: Se encuentra en el proyecto de investigación de Montejo, A. (2013). Tecnología y patología del concreto armado. Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C, Colombia. P. 100, clasifica las partículas según su forma, en el caso en estudio se presentan partículas angulares [15].

7.1.3.1.3 Clasificación según su densidad. Otra forma de clasificar a los agregados es según la densidad, la cual depende de su peso por unidad de volumen y del volumen de poros. Esta densidad afecta directamente la densidad del concreto haciendo que sea un concreto ligero, un concreto normal o un concreto pesado [12].

7.1.3.1.4 Clasificación según su textura. La textura del agregado está asociada con la forma. Generalmente, los agregados redondeados tienen una textura lisa y los agregados

angulares tienen una textura rugosa, pero incluso cuando la superficie del agregado redondeado es lisa, es suficientemente rugosa para desarrollar un vínculo razonable bueno entre la superficie y el gel sub-microscópico del cemento. La clasificación más usada se encuentra en la tabla 4:

Tabla 4. *Clasificación de la textura superficial de los agregados.*

Grupo	Textura superficial	Características
1	Vítrea	Fractura concoide.
2	Lisa	Desgastada por el agua o losa debido a la fractura de la roca laminada o de grano fino.
3	Granular	Fractura que muestra granos más o menos uniformemente redondeados.
4	Áspera	Fractura áspera de rocas con granos finos o medianos que contienen partículas cristalinas no fácilmente visibles.
5	Cristalina	Contiene partículas fácilmente visibles.
6	Apanalada	Con poros y cavidades visibles.

Nota: Montejo, A. (2013). Tecnología y patología del concreto armado. Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C, Colombia. P. 17, en ella se clasifica por textura superficial a los tipos de agregados [15].

7.1.3.1.5 Clasificación por su petrología. La petrología estudia las rocas en su conjunto, sus características geométricas de campo, características petrográficas (componentes), composición química detallada de la misma y de los distintos minerales que la constituyen, condiciones físico-químicas de formación y los procesos evolutivos durante su génesis. Los componentes petrográficos son aquellos componentes de la roca que tienen entidad física, tales como granos minerales, asociaciones particulares de determinados minerales, otros fragmentos de rocas relacionados o no genéticamente con la roca que los engloba, componentes de la matriz y cemento, material amorfo o criptocristalino (vidrio

volcánico, geles de sílice...), espacios vacíos (poros, vacuolas...), fracturas discretas o selladas, etc. Algunos componentes petrográficos se presentan en todos los tipos de rocas, tales como los granos minerales o poros, que son muy abundantes en las rocas sedimentarias e ígneas volcánicas, pero son muy pequeños y escasos en rocas metamórficas e ígneas plutónicas; otros se presentan sólo en algunos tipos, como el vidrio volcánico en las rocas magmáticas volcánicas; otros se presentan en cualquiera de los tipos rocosos, pero sólo ocasionalmente, como las fracturas [15].

7.1.4 Recomendaciones y consideraciones de los agregados

Los agregados pétreos deben poseer por lo menos la misma resistencia y durabilidad que se exija al concreto. No se deben emplear calizas blandas, feldespatos, yesos, piritas o rocas friables o porosas. Para la durabilidad en medios agresivos serán mejores los áridos silíceos, los procedentes de la trituración de rocas volcánicas o los de calizas sanas y densas. Con agregados naturales rodados, los concretos son más trabajables y requieren menos agua de amasado que los agregados de machaqueo, teniéndose además la garantía de que son piedras duras y limpias.

De igual forma, los agregados machacados procedentes de trituración, al tener más caras de fractura cuestan más ponerlos en obra, pero se traban mejor y se refleja en una mayor resistencia. Si los agregados rodados están contaminados o mezclados con arcilla, es imprescindible lavarlos para eliminar la camisa que envuelve los granos y que disminuiría su adherencia a la pasta de concreto.

De igual manera, los áridos de machaqueo suelen estar rodeados de polvo de machaqueo que supone un incremento de finos al concreto, precisa más agua de amasado y darán menores resistencias por lo que suelen lavarse. Los agregados que se emplean en

concretos se obtienen mezclando tres o cuatro grupos de distintos tamaños para alcanzar una granulometría óptima. Tres factores intervienen en una granulometría adecuada: el tamaño máximo del árido, la compacidad y el contenido de granos finos.

Cuanto mayor sea el tamaño máximo del agregado, menores serán las necesidades de cemento y de agua, pero el tamaño máximo viene limitado por las dimensiones mínimas del elemento a construir o por la separación entre armaduras, ya que esos huecos deben quedar rellenos por el concreto y, por tanto, por los agregados de mayor tamaño.

Cabe resaltar, que en una mezcla de agregados una compacidad elevada es aquella que deja pocos huecos; se consigue con mezclas pobres en arenas y gran proporción de agregados gruesos, precisando poca agua de amasado; su gran dificultad es conseguir compactar el concreto, pero si se dispone de medios suficientes para ello el resultado son concretos muy resistentes.

En cuanto al contenido de agregados finos, estos hacen la mezcla más trabajable, pero precisan más agua de amasado y de cemento. En cada caso hay que encontrar una fórmula de compromiso teniendo en cuenta los distintos factores. Las parábolas de Fuller y de Bolomey dan dos familias de curvas granulométricas muy utilizadas para obtener adecuadas dosificaciones de agregados. Para la clasificación petrológica nos apoyaremos en el personal de laboratorio y/o docentes especializados en la determinación de minerales en las muestras recolectadas [15].

7.1.5 Escoria acerada

Las escorias aceradas son subproductos metálicos obtenidos de diferentes procesos físicos, tales como cortes, torneado, limado, fresado entre otros. Estos procesos son realizados principalmente en tornos y seguetas mecánicas tal como se muestra en la figura 1:

Figura 1. *Segueta mecánica*



Adaptado de Sánchez, N & Ardila, J. (2013). *Segueta Mecánica* [16].

7.1.6 Funciones de los componentes del hormigón

Cada uno de los materiales componentes de la mezcla de concreto cumple una función determinada.

7.1.6.1 Función del cemento. El cemento utilizado en las mezclas de concreto, es un cemento hidráulico (la razón por la cual el cemento es llamado hidráulico es porque al tener contacto con el agua, desarrolla sus propiedades aglutinantes y generando así un posterior endurecimiento) el cual provee propiedades con el fin de conformar el concreto. Estas propiedades anteriormente mencionadas dependerán de las características del cemento, se grado de hidratación, la finura de sus partículas, su velocidad de fraguado, el calor de hidratación y la resistencia mecánica que sea capaz de producir [12].

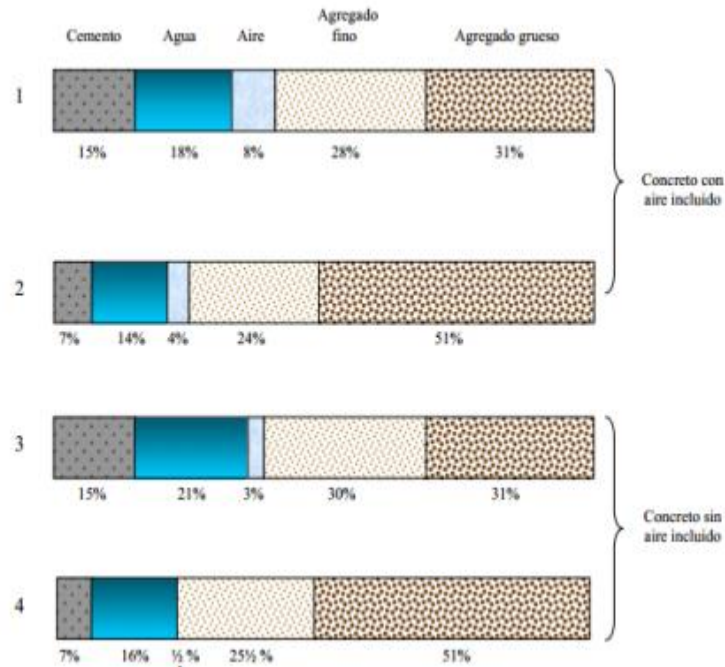
7.1.6.2 Función de los agregados. Pueden ser considerados como agregados para la mezcla de hormigón todos aquellos materiales que posean una resistencia propia suficiente

y que no perturben el proceso de endurecimiento del cemento, es decir que sean inertes y que de igual manera garanticen la adherencia suficiente con la pasta de cemento endurecida. La principal función de los agregados dentro de la mezcla, es que actúen como material de relleno y que proporcionen parte de la resistencia mecánica propia de la compresión. Por último, en el momento de la mezcla del concreto pasa de estado plástico a estado endurecido, los agregados ayudarán a controlar los cambios volumétricos de la pasta, evitando así la generación de agrietamientos por retracción que pueden tener incidencia en las propiedades mecánicas (resistencia final) del hormigón [12].

7.1.6.3 Función del agua. La función del agua será la de hidratar las partículas del cemento, con el fin de lograr la reacción química y generar el endurecimiento, luego del cual, una parte de esta agua queda fija en dicha mezcla y la otra parte queda como agua evaporable; por otro la cantidad de agua de la mezcla, determinará una de las características propias del concreto, que es la fluidez, ya que, a mayor cantidad de agua, mayor será la fluidez.

7.1.6.4 Función del aire. Durante el proceso de mezclado quedan atrapadas algunas burbujas de aire, que luego de la compactación son retiradas en su gran mayoría, sin embargo, siempre queda algún porcentaje de aire naturalmente atrapado dentro de la mezcla. En algunas ocasiones se adicionan burbujas de aire intencionalmente por medio de aditivos y con fines específicos (concretos expuestos a condiciones severas) [12].

En la figura 2 se encuentra el esquema del concreto con aire incluido con las respectivas especificaciones de porcentajes para cada fracción:

Figura 2. *Contenido de aire*

Adaptado de Polanco, A. (2014). Contenido de Aire [18].

7.1.6.5 Función de los aditivos. Los aditivos pueden ser utilizados con el fin de modificar las propiedades del concreto (estado fresco y/o endurecido) para hacerlo más adecuado a diversas condiciones de trabajo. De igual manera pueden ser utilizados para economizar el proceso de producción en algunos casos.

7.1.7 Posibles patologías

Debido a que la mezcla de concreto se ha modificado con un material proveniente del acero, es posible que con el tiempo aparezcan evidencias de corrosión de este material.

La corrosión en los materiales acerados se presenta debido a un proceso químico o electroquímico, en el cual el hierro se separa del acero, convirtiéndose en dióxido de hierro para luego transformarse en óxido de hierro y agua.

Las primeras evidencias de esta patología serán la aparición de picaduras de color naranja o rojizo, extendiéndose posteriormente en toda la superficie del material; esto se deberá principalmente por la presencia de sales, y al encontrarse en un medio ambiente desfavorable con altas humedades o temperaturas.

Una de las principales razones por la que el concreto se ve expuesto ante la pérdida de alcalinidad, es la carbonatación y esta se presenta con relación a la porosidad del elemento estructural; por esta razón a mayor porosidad aumenta la velocidad de corrosión. La porosidad del concreto puede ser evitada aumentando la cantidad de cemento y disminuyendo el agua de mezclado, al igual que empleando buenas técnicas en la compactación (buen vibrado genera alta compacidad e impermeabilidad) y en el proceso de curado.

Lo anteriormente mencionado, es de vital importancia para la durabilidad del concreto estudiado en este proyecto, ya que al generarse corrosión en el agregado de escorio acerada, esto generará una pérdida de la resistencia, debido a que cuando se presenta corrosión en el material acerado no se genera la suficiente adherencia entre los componentes de la mezcla del concreto.

7.2 Metodologías de dosificación

En diseño de mezclas de concreto, es una de las herramientas más importantes con las que debe contar toda obra de ingeniería, ya que el empleo de dicho material, compromete el funcionamiento, resistencia, estabilidad, durabilidad y calidad en general de todas las construcciones que involucren concreto a nivel estructural. Los métodos de dosificación, tienen como objetivo solventar algunas de las propiedades mencionadas anteriormente por medio de la caracterización de cada uno de sus componentes, con el fin de llegar a determinar

“las cantidades relativas para producir, tan económicamente como sea posible, un concreto o un mortero con un mínimo de propiedades” [15].

Es evidente que postular una dosificación perfecta que genere una resistencia específica totalmente constante, es una utopía para la ingeniería en general, ya que existe una infinidad de parámetros que intervienen en su resistencia final que no se pueden llegar a controlar en su proceso de fabricación; sin embargo, es confiable recurrir a este tipo de metodologías de dosificación, dado que a lo largo de la historia han brindado resultados satisfactorios y congruentes con sus procedimientos de diseño; cabe resaltar que el reglamento colombiano NSR - 10 cubre diferentes tipos de desviaciones que, en cuanto a resistencia, brindan un factor de seguridad que oscila entre 7 MPa y 10 MPa.

7.2.1 Método del ACI

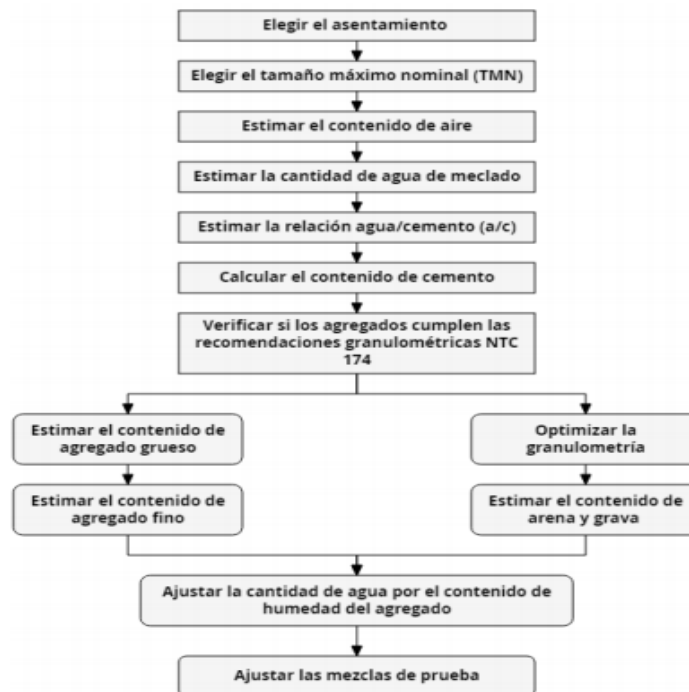
El Instituto Americano del Concreto (ACI por sus siglas en inglés), planteo un procedimiento de dosificación que reúne el conjunto de estudios desarrollados por varios métodos, incluido el método Walker.

Esta metodología “ha sido concebida de tal manera que la dosificación de los agregados satisface unos requisitos granulométricos determinados”; no obstante, cuando no se cumple con este requisito, se puede emplear como soporte el procedimiento alternativo propuesto por el Road Note Laboratory (RNL), el cual consiste en realizar una optimización granulométrica adecuada de los agregados, combinando varias fuentes para producir la mezcla requerida [8].

De la misma manera que muchos métodos de dosificación, el ACI recomienda a los constructores realizar mezclas de prueba con el fin de comprobar si las características proporcionadas en el diseño, se acercan a la realidad del concreto tanto en estado fresco como

endurecido. En caso de satisfacer parcialmente los requerimientos del proyecto en cuanto a condiciones de transporte, colocación y resistencia, “se deberá realizar una mínima variación en la dosificación inicial mediante un sistema de ajuste y reajuste, que logre solventar al máximo las características mínimas del concreto para su colocación en obra”. En la figura 3 se encuentra una secuencia de diseño según el método ACI.

Figura 3. *Secuencia de diseño-método ACI*



Adaptado de ASOCRETO. Tecnología del concreto. C1: *Diseño de mezclas* [19].

De igual modo, el método cuenta con una serie de tabulaciones y ábacos que relacionan algunas de las características de instalación y resistencia de la mezcla respecto a la cantidad relativa de cada uno de los componentes del concreto [8].

Cabe resaltar que este tipo de metodología es el más utilizado por parte de las concretaras a nivel mundial, puesto que el grado de influencia e investigación, generado por dicha asociación, ha llevado a la mayoría de los países latinoamericanos a comprar los

derechos de sus documentos técnicos con el propósito de reproducir sus normas de construcción sismo resistente fundamentados en los resultados del ACI.34.

7.2.2 Otros métodos de dosificación

En este caso se presentan métodos conocidos como el Método Walker, teniendo en cuenta el manual de diseño de mezclas de DIMEZCO. De igual forma, el método Sandino, Método Faury, el de ICPA, entre otros.

7.2.2.1 Método Walker. Enrique Rivva, manifiesta que el método de dosificación Walker, es el resultado de la investigación del profesor inglés Stanton Walker, el cual desarrollo una metodología para calcular las cantidades de cada uno de los componentes del hormigón mediante la aplicación de una serie tabulaciones que representan correlaciones entre una y otra propiedad del material; el profesor norteamericano S. Walker consiguió su reproducción mediante un sistema de prueba y error que logro aproximar un procedimiento valido para el diseño de mezclas de concreto.

Por otra parte, Walker, patenta el método en vista de la preocupación que le generaban los procedimientos de diseño llevados a cabo por el comité 211 del ACI, en relación con el hecho de que, sea cual fuera la resistencia de diseño del concreto y por tanto su relación agua/cemento, contenido de cemento y características del agregado fino, la cantidad de agregado grueso era la misma.

El profesor Walker, planteó que la relación fino-grueso debería variar en función del contenido de la pasta en la mezcla, así como del perfil y del TMN del agregado grueso, y que otro factor que debería ser considerado era la mayor o menor fineza del agregado fino, a su vez, el contemplo que debía existir una calificación del agregado en función de su tamaño,

clasificándolos como finos, medianos y gruesos; así mismo, considero la geometría de los agregados gruesos, y dependiendo el caso, se consideran cuatro alternativas de factor cemento. Todo ello permite encontrar un porcentaje de agregado fino que se considera como el más conveniente en relación al volumen absoluto total de agregado.

7.2.2.1.1 Secuencia de diseño. Teniendo en cuenta que cada ítem depende de:

- Resistencia de diseño - Proyecto, especificaciones del diseño estructural.
- Selección de asentamiento – trabajabilidad necesaria en el proyecto.
- Características de los materiales a emplear – condiciones de ubicación o disponibilidad en obra.
- Selección del tamaño máximo nominal (TMN) – ítem 3.
- Contenido de agua – tamaño máximo nominal y asentamiento.
- Selección de la relación agua/material cementante (a/mc) – Resistencia de diseño y contenido de aire.
- Cálculo del contenido de cemento – Relación a/mc .
- Cálculo de volumen absoluto de agregados (fino + grueso) – Determinación de la sumatoria de los volúmenes de aire, cemento y agua.
- Cálculo del porcentaje de agregado fino – TMN, módulo de fineza y factor cemento.
- Cálculo de pesos secos de los agregados – peso específico de los agregados
- y % de agregado fino.
- Presentación del diseño en estado seco – cantidad de cemento.
- Ajustes de diseño por humedad de los agregados – Contenido de humedad.
- Presentación final del diseño.

7.2.2.1.2 Método Sandino. El procedimiento de diseño de mezclas por este método de dosificación, tiene en cuenta la ocurrencia de dos posibles escenarios, y para cada uno de los mismos, se presentan procedimientos diferentes. El primer escenario es aplicable cuando los agregados grueso y fino cumplen los requisitos granulométricos, mientras que el segundo escenario reúne las implicaciones producto de un agregado mal gradado [19].

En el primer caso, se determinan las cantidades, en volumen, del agregado grueso, agua y cemento por metro cubico de concreto, por medio de un conjunto de ábacos que relacionan los siguientes componentes:

- Asentamiento – Agua.
- Resistencia a la compresión – Cantidad de cemento (en función del tamaño máximo del agregado grueso).

Alejandro Sandino, propone a su vez que la relación entre el asentamiento y el agua, tiene una influencia directa con la geometría de los agregados, ya sea agregado liso o agregado angular, ya que, según la presentación de los ábacos, entre más angular sea el agregado, y más pequeño sea este, se demandara mayor cantidad de agua por metro cubico para la elaboración de la mezcla.

En el segundo escenario, cuando la granulometría de los agregados no logra acomodarse a los requerimientos mínimos especificados por la NTC 174, se debe buscar combinar los agregados con otras fuentes, para que esta nueva distribución de tamaños, consiga aproximarse a la curva sugerida por Fuller (conjunto de curvas granulométricas ideales en función del tamaño máximo del agregado); posteriormente, se realiza un procedimiento similar al desarrollado en el primer escenario.

Evidentemente, según Sandino para los dos escenarios presentados se presenta una relación directamente proporcional entre la resistencia a compresión esperada los 28 días del concreto, y la cantidad de cemento suministrada al mismo.

7.2.2.2 Método Faury. El departamento de Ingeniería y gestión de la construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile, manifiesta que este método se basa en las experiencias realizadas por su propio autor, las que constituyen una continuación de las que ya anteriormente habían ejecutado sobre principios similares otros investigadores tales como Fuller, Bolomey y principalmente Caquot, quien les proporcionó el fundamento teórico a los conceptos de mayor importancia contenidos en el método.

Esencialmente, esta metodología mantiene la secuencia de los anteriores sistemas de dosificación, con la diferencia de incluir en sus cálculos la relación entre la sección de concreto involucrada en los elementos estructurales, y área disponible entre las barras de acero de refuerzo dispuestas para el mismo. Por otro lado, este método también se enfatiza en la dosis suministrada a los áridos por medio de un modelo denominado Índices Ponderables, el cual permite ajustar la granulometría del agregado en función de la curva ideal propuesta por Fuller [19].

7.2.3.3 Método del ICPA. El instituto del cemento portland argentino (ICPA), postula una metodología de dosificación que supone útil para el diseño de mezclas consideradas convencionales y no puede emplearse para el diseño de hormigones livianos análogamente a otros métodos racionales, se deben conocer las propiedades o características de los materiales componentes, así como las condiciones particulares de la obra y el equipamiento disponible.

Es por esto que, según el diseño racional de mezclas de hormigón la aplicación de este modelo tiene la característica de contemplar los posibles cambios en las características debido al empleo de aditivos reductores de agua o inclusores de aire; las etapas del método son muy similares a las empleadas por el ACI.

7.2.4 Fundamentos para el diseño de mezclas

En la actualidad, el diseño de las mezclas de concreto para cualquier proyecto de ingeniería, no forma parte integral de las actividades que conforman el desarrollo de las obras de infraestructura a nivel nacional, sin embargo, en los últimos años esta importante labor se ha subestimado y dejado a cargo de terceros que, por medio de subcontratación, se dedican exclusivamente al diseño y elaboración de cemento y mezclas de concreto.

Por otra parte, en obras relativamente pequeñas, donde el concreto se fabrica in situ, el “diseño” de la mezcla se limita exclusivamente a una preparación basada en la experiencia adquirida por parte del maestro de obra; generalmente esta preparación se lleva a cabo por medio de paladas o sacos, los cuales se ajustan a las siguientes correlaciones, en la figura 4 se encuentran las distintas relaciones de cemento, arena y triturado:

Figura 4. Relaciones cemento: arena: triturado C: A: T en obra

RELACION	RESISTENCIA (PSI)
1:2:2	3500
2:2:3	3000
1:2:4	2500

Adaptado de ConstrutaFacil.org (2012). *Dosificaciones por Volumen* [20].

Evidentemente, esta metodología rudimentaria pasa por alto muchas de las variables que se deben considerar para la cuantificación de cada uno de los componentes del hormigón, objetivo principal del diseño de mezclas de concreto. Estas relaciones, no tienen en cuenta la gran diversidad de material pétreo que se puede emplear para la elaboración del concreto, omitiendo las características y propiedades que le pueden brindar a la mezcla final, por otro lado, dichas relaciones no contemplan la cantidad de agua que se inyectara en las mezclas, alterando uno de los parámetros más importantes en el material, la relación agua/cemento [8].

No obstante, la aceptación de este tipo de dosificaciones y de los malos procedimientos de mezclado y colocación del hormigón, obedecen a lo que denominaría el Ingeniero Eccelino Farías García como, “uno de los atributos más importantes del concreto, la nobleza” y es esta nobleza la que hace posible que sin importar el diseño, manejo, colado y curado de los elementos estructurales hechos en concreto, logren un comportamiento sobresaliente en las obras que se atreven a menospreciar la reglamentación vigente para la construcción sismo resistente en Colombia.

7.3 Marco conceptual

Según Montoya los agregados son materiales pétreos naturales seleccionados; materiales sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, o materiales producidos por la expansión, calcinación o fusión excipiente, que se mezclan con cemento y agua, para formar concreto hidráulico. Los agregados para concreto hidráulico se dividen en:

7.3.1 Agregado fino

Los agregados son materiales pétreos naturales seleccionados; materiales sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, o materiales producidos por la expansión, calcinación o fusión excipiente, que se mezclan con cemento y agua, para formar concreto hidráulico.

7.3.2 Agregado grueso

Puede ser grava natural seleccionada u obtenida mediante trituración y cribado, con partículas de tamaño máximo, generalmente comprendido entre 19mm (3/4") y 75mm (3"), pudiendo contener fragmentos de roca y arena.

7.3.3 Fragmentos de roca

Son los agregados con tamaño mayor a 75mm (3") y una masa máxima de 30Kg, como los boleos y la piedra braza, entre otros que se utilizan comúnmente para concreto ciclópeo.

7.3.4 Agregado ligero

Son los agregados finos o gruesos que, por su baja densidad, se utilizan en la fabricación de concreto estructural ligero, de baja masa volumétrica y resistencia limitada a la compresión, constituidos predominantemente por materiales inorgánicos de estructura celular, preparados por expansión, calcinación o fusión incipiente de productos tales como escorias de altos hornos, arcillas comunes, diatomitas, cenizas volantes, lutitas y pizarras, o bien, mediante otros tratamientos de materiales naturales tales como piedra pómez, perlitas, tezontles, escorias y tobas.

El concreto se elabora con arena y grava (agregado grueso) que constituyen entre el 70 y 75 por ciento del volumen y una pasta cementante endurecida formada por cemento hidráulico con agua, que con los vacíos forman el resto. Usualmente, se agregan aditivos para facilitar su trabajabilidad o afectar las condiciones de su fraguado y contenido de vacíos para mejorar la durabilidad. El cemento suministra las propiedades adhesivas y cohesivas a la pasta. Se usa el cemento hidráulico tipo Portland. Para su hidratación requiere cerca del 25% de agua.

Sin embargo, para mejorar la fluidez del cemento dentro de la pasta se requiere un porcentaje adicional del 10 al 15 %. La relación agua-cemento (a/c) mínima es de 0,35; en la práctica es mayor para darle trabajabilidad a la mezcla de concreto. La relación a/c es uno de los parámetros que más afecta la resistencia del concreto, pues a medida que aumenta, aumentan los poros en la masa y por ende disminuye la resistencia.

El agua de la mezcla debe ser limpia y libre de impurezas y en general debe ser potable. El proceso de hidratación genera calor, que produce aumento de temperatura en la mezcla y expansión volumétrica y que debe controlarse sobre todo en vaciados masivos. Con el fin de controlar el exceso de agua en la mezcla, necesario para facilitar la trabajabilidad del concreto fresco, la tecnología moderna del concreto, facilita los aditivos plastificantes, los cuales además de facilitar el proceso constructivo, permiten obtener concretos de resistencia más uniforme.

7.3.5 Vigas de hormigón

San Bartolomé define a las vigas como “elemento de soporte o apoyo de la losa, la cual transfiere su carga a dicha viga además de estar sujeta a la influencia de otras cargas tales como su propio peso, peso de tabiques y otros”.

Blanco designa a las vigas como elementos de sostén de las losas y transfieren directamente su peso hacia las columnas o muros; dependiendo del tipo de sistema estructural con que se cuente. Generalmente las vigas forman los ejes de una estructura y en sus intersecciones se ubican columnas; las vigas conjuntamente con las columnas y/o placas cumplen una función sísmica de suma importancia, la de aportar rigidez lateral a una estructura para resistir las fuerzas horizontales provocadas por sismos. En cuanto a sus tipos se tienen:

7.3.5.1 Viga peraltada. Es aquella cuyo peralte o altura de sección es mayor que el espesor de losa y por ende es visible diferenciándose del techo. Las vigas peraltadas pueden ser invertidas, si su peralte se desarrolla hacia la parte superior de la losa y normales, si su espesor se orienta hacia la parte inferior de la losa; ambos tipos de vigas aportan la misma rigidez y resistencia tan solo cambian los esfuerzos internos.

7.3.5.2 Viga chata. Son aquellas que se confunden con el techo por tener el mismo espesor. En la figura 5 se pueden ver los tipos de vigas.

Figura 5. Tipos de vigas.



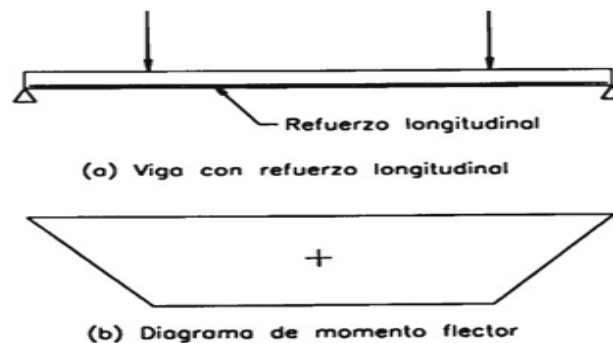
Adaptado de ConstrutaFacil.org (2012). *Dosificaciones por Volumen* [20].

7.3.6 Flexión

Blanco precisa que la flexión en todo elemento estructural se presenta cuando este elemento se encuentra sometido a cargas perpendiculares a su plano, estas cargas son externas y transversales, generando esfuerzos de flexión y fuerzas cortantes a lo largo de su eje longitudinal. Todas las ecuaciones que a continuación se detallan se encuentran en el sistema metro-kilogramo-segundo (MKS).

7.3.6.1 Secciones rectangulares sometidas a flexión. Harmsen especifica el caso de una viga rectangular simplemente apoyada en sus extremos con la presencia de dos cargas puntuales y perpendiculares a su eje longitudinal, ocasionando un diagrama de momento flector presentado en la figura 6:

Figura 6. Diagrama de momento flector en una viga.



Adaptado de González, J. (2003). *Diagrama de Momento Flector en una Viga* [5].

En toda la longitud de la viga se genera un estrato superior a compresión y un estrato inferior a tracción. Las etapas que pasa la parte de la viga la cual presenta flexión pura, cuando se incrementa la carga hasta la falla por flexión, se describen a continuación:

Etapa 1: No hay presencia de rajaduras por que la carga es pequeña y por lo tanto los esfuerzos de compresión y tracción en la sección no superan la resistencia del concreto.

Etapa 2: El esfuerzo del concreto está a punto de alcanzar su resistencia a tracción. No se observan las primeras rajaduras, pero si una creciente deformación. El acero y el concreto se deforman conjuntamente debido a su adherencia entre ellos presentando un comportamiento elástico, además los esfuerzos de cada material están vinculados por la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 1 esfuerzo del acero: } F_s = n f_c$$

Dónde: f_s : Esfuerzo del acero.

f_c : Esfuerzo del concreto.

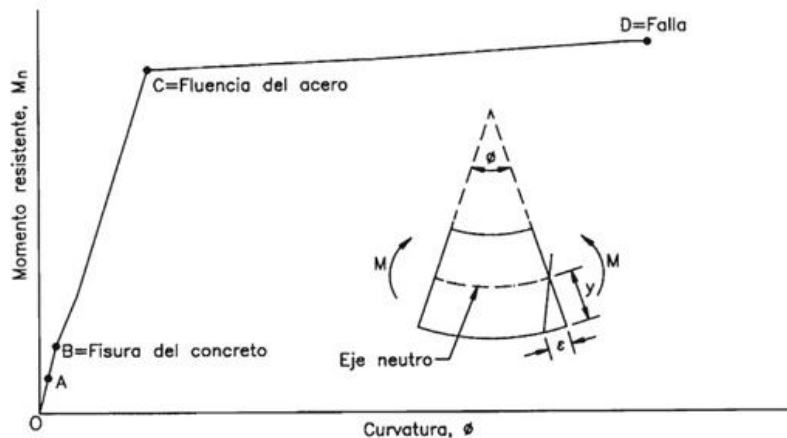
n : Relación modular.

Etapa 3: El concreto presenta agrietamiento, por ende, no resiste el esfuerzo de tracción y éste último es absorbido por el refuerzo; la distribución de esfuerzos sigue siendo lineal. El concreto llega hasta la mitad de su resistencia a la compresión.

Etapa 4: El acero alcanza el esfuerzo de fluencia, aunque el concreto no llegue a su resistencia máxima, la deflexión se incrementa rápidamente y la distribución de esfuerzos ya no es lineal. Finalmente, el hormigón falla por aplastamiento.

En la figura 7 se encuentran la parte donde fluye el material, el momento resistente en el eje y la gráfica de la curvatura del comportamiento del acero que se somete ante un esfuerzo y finalmente ante la falla.

Seguido de la representación se tienen las respectivas ecuaciones donde el autor define la curvatura mencionada.

Figura 7. Diagrama de momento resistente vs curvatura.

Adaptado de González, J. (2003). *Diagrama de Momento Resistente vs Curvatura*. [5].

Harmesen define a la curvatura como:

$$\text{Ecuación 2. Curvatura según Harmesen: } \phi = y/\epsilon$$

Donde, ϵ es la deformación unitaria de la sección analizada a una distancia “y” del eje neutro de la misma.

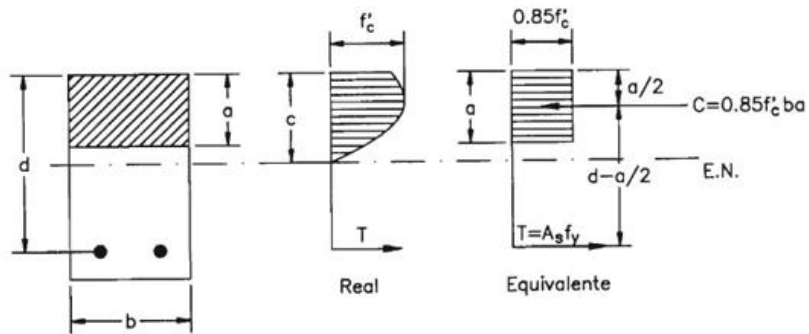
7.3.6.2 Hipótesis básicas para el estudio de elementos sometidos a flexión. En este apartado se tendrá en cuenta:

El Código ACI-318 (2014) en su capítulo 22.2, presenta las siguientes hipótesis para elementos sometidos a flexión:

- Las deformaciones en concreto y refuerzo son directamente proporcionales a su distancia al eje neutro de la sección excepto para vigas de gran peralte para las cuales se asumirá una distribución no lineal de deformaciones. Esta suposición ha sido confirmada experimentalmente y es fundamental para la determinación de los esfuerzos en el refuerzo, tanto a tracción como a compresión.

- El hormigón falla al alcanzar una deformación unitaria última de 0.003. Sin embargo, para concretos normales éstas varían entre 0.003 y 0.004.
- El esfuerzo en el acero antes de alcanzar la fluencia es igual al producto de su módulo de elasticidad por su deformación unitaria.
- Para deformaciones mayores a la de fluencia, el esfuerzo en el refuerzo será independiente de la deformación e igual a f_y . Esta hipótesis refleja el modelo elasto-plástico de la curva esfuerzo- deformación del acero.
- La resistencia a la tensión del concreto es despreciada.
- La distribución de los esfuerzos de compresión en la sección de concreto será asumida de modo que sea coherente con los resultados obtenidos en los ensayos. Esta hipótesis reconoce la naturaleza inelástica del comportamiento del concreto.
- Los requerimientos del punto anterior son satisfechos por la distribución rectangular de esfuerzos, propuesta por Whitney.
- El valor de B_1 es 0.85 si la resistencia del concreto es menor que 280 kg/cm². Si este no es el caso, B_1 disminuirá en 0.05 por cada incremento de 70 kg/cm² en la resistencia del concreto.
- En ningún caso B_1 será menor que 0.65, pues los ensayos han demostrado que para concretos de alta resistencia una reducción excesiva de B_1 conlleva a diseños poco conservadores. La resultante de la distribución rectangular de esfuerzos propuesta por Whitney coincide con la resultante de la distribución no lineal de esfuerzos.

En la figura 8 se puede apreciar la distribución de esfuerzos.

Figura 8. Distribución de esfuerzos en el concreto en compresión de la viga

Adaptado de González, J. (2003). *Distribución de Esfuerzos en el Concreto en Compresión de la Viga* [5].

7.3.6.3 Tipos de fallas en los elementos sometidos a flexión. Harmsen menciona tres tipos de falla:

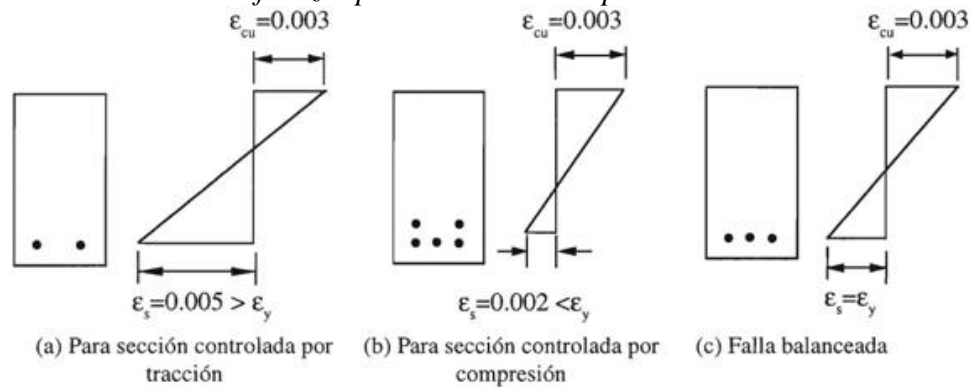
- Falla por tensión: Llamadas también sub-reforzadas, en este tipo de falla el acero fluye y el elemento exhibe una falla dúctil por lo que se aprecian grandes deformaciones y agrietamiento antes de colapsar; la norma peruana establece la cantidad máxima de acero en tracción.
- Falla por compresión: El acero no tiene oportunidad de fluir (permanece en el rango elástico) y el concreto alcanza la deformación máxima fallando súbitamente. Estas secciones son llamadas sobre-reforzadas, su falla es frágil y no es recomendable en el diseño.

Comparando las resistencias de secciones de las mismas dimensiones, una sección sobre-reforzada es superior a una sección sub-reforzada; pero la falla de la misma no es recomendable.

- Falla balanceada: Marca el límite entre las anteriores fallas, se produce cuando el concreto alcanza la deformación unitaria última de 0.003 simultáneamente al inicio

de la fluencia del acero. También la fractura es frágil y no se recomienda, en la figura 9 se aprecia la distribución de esfuerzos.

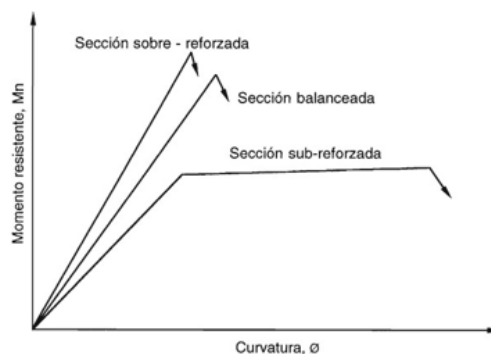
Figura 9. Distribución de esfuerzos para los diversos tipos.



Adaptado de González, J. (2003). *Distribución de esfuerzos para diversos tipos* [5].

Las características descritas anteriormente para cada tipo de falla se pueden apreciar mejor al ser comparadas en la siguiente gráfica momento resistente vs curvatura tal como se ve en la figura 10:

Figura 10. Diagrama momento-curvatura para los tipos de falla en flexión.



Adaptado de González, J. (2003). *Distribución de esfuerzos para diversos tipos* [5].

7.3.7 Clases de canteras

Según Olarte existen dos tipos fundamentales de canteras:

7.3.7.1 Aluvión. Llamadas también canteras fluviales, en las cuales los ríos como agentes naturales de erosión, transportan durante grandes recorridos las rocas aprovechando su energía cinética para depositarlas en zonas de menor potencialidad formando grandes depósitos de estos materiales entre los cuales se encuentran desde cantos rodados y gravas hasta arena, limos y arcillas; la dinámica propia de las corrientes de agua permite que aparentemente estas canteras tengan ciclos de autoabastecimiento, lo cual implica una explotación económica, pero de gran afectación a los cuerpos de agua y a su dinámica natural. Dentro del entorno ambiental una cantera de aluvión tiene mayor aceptación en terrazas alejadas del área de influencia del cauce que directamente sobre él.

7.3.7.2 Roca. Más conocidas como canteras de peña, las cuales tienen su origen en la formación geológica de una zona determinada, donde pueden ser sedimentarias, ígneas o metamórficas; estas canteras por su condición estática, no presentan esa característica de autoabastecimiento lo cual las hace fuentes limitadas de materiales. Estos dos tipos de canteras se diferencian básicamente en dos factores, los tipos de materiales que se explotan y los métodos de extracción empleados para obtenerlos.

En las canteras de río, los materiales granulares que se encuentran son muy competentes en obras civiles, debido a que el continuo paso y transporte del agua desgasta los materiales quedando al final aquellos que tiene mayor dureza y además con características geométricas típicas como sus aristas redondeadas. Estos materiales son extraídos con palas mecánicas y cargadores de las riberas y cauces de los ríos.

Las canteras de peña, están ubicadas en formaciones rocosas, montañas, con materiales de menor dureza, generalmente, que los materiales de ríos debido a que no sufren ningún proceso de clasificación; sus características físicas dependen de la historia geológica de la región, permitiendo producir agregados susceptibles para su utilización industrial; estas canteras se explotan haciendo cortes o excavaciones en los depósitos [6].

7.3.8 Clasificación de canteras

Se dividen según el tipo de explotación, según el material y según el origen.

7.3.8.1 Según el tipo de explotación.

- Canteras a Cielo Abierto: En laderas, cuando la roca se arranca en la falda de un cerro.
- En corte: cuando la roca se extrae de cierta profundidad en el terreno.
- Canteras Subterráneas.

7.3.8.2 Según el material a explotar.

- De Materiales Consolidados o Roca.
- De Materiales no consolidados como suelos, saprolito, agregados, terrazas aluviales y arcillas.

7.3.8.3 Según su origen.

- Canteras aluviales.
- Canteras de roca o peña

7.4 Marco legal

7.4.1 Reglamentación NSR-10

Según Herrera, P. & Vargas, H. (2018), el documento que reglamenta la construcción sismo resistente en Colombia, destina en su título C (Concreto estructural) dos capítulos dedicados específicamente al control de calidad del material mediante la regulación de tres pilares fundamentales, que, en conclusión, se encuentran directamente relacionados con el objetivo del presente documento [8]:

- Durabilidad.
- Dosificación.
- Control estadístico y de calidad.

7.4.2 Durabilidad

Este capítulo se encuentra enmarcado por la importancia de considerar los requisitos de durabilidad antes de seleccionar una resistencia de diseño f'_c , es decir que, dependiendo del destino, tipo de obra y disposición final del concreto, se deberá considerar la introducción de categorías y clases de exposición que guiarán las bases del diseño en función de la resistencia a la compresión.

Por otra parte, según Argos, la durabilidad del concreto puede definirse como su capacidad para resistir la acción del medio ambiente circundante, los ataques químicos, biológicos, la abrasión y cualquier otro proceso de deterioro, relacionándose con la vida útil de una estructura y el comportamiento que tendrán las mismas al exponerse bajo las cargas de servicio según el uso que sea asignado durante un determinado período de tiempo en el

que se conserva los requisitos ya sea de seguridad con su estado límite último y servicio, la funcionalidad y aspecto, incluyendo los costos de mantenimiento.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, en vista de que la resistencia a la compresión f'_c , es el parámetro más significativo para valorar el concreto, la normativa NSR-10, exige que la escogencia del mismo obedezca al mayor de los siguientes valores:

- 17 Mpa.
- Para durabilidad del capítulo C.4.
- Para los requisitos de resistencia estructural.
- Para estructuras tipo (DMO) o (DES), $f'_c > 21$ Mpa y $a/mc \leq 0.6$.

Así mismo, teniendo en cuenta que resulta primordial evaluar los requisitos de durabilidad para la escogencia de los valores de resistencia a la compresión (f'_c) y la información base para el diseño de la mezcla de concreto, se exponen a continuación los parámetros que se deben considerar para durabilidad en función de las condiciones propias de la obra. (NSR-10, 2010). Los requisitos se expresan en la tabla 5:

Tabla 5. *Requisitos según la clase de exposición.*

Descripción de la exposición	Clase de Exposición	Rela. a/mc máx	f'_c mín. Mpa	Requisitos mínimos adicionales.
Concreto exterior expuesto a la humedad y a ciclos de congelamiento y deshielo	F0	N/A	17	N/A
	F1	0,45	31	Deben tener aire incorporado.
	F2	0,45	31	
	F3	0,45	31	
Concreto en contacto con el suelo o agua que contenga iones sulfatos solubles en agua	S0	N/A	17	N/A
	S1	0,5	28	Debe fabricarse con cementos resistentes a sulfatos.
	S2	0,45	31	
	S3	0,45	31	
	P0	N/A	17	N/A

Descripción de la exposición	Clase de Exposición	Rela. a/mc máx	f'c mín. Mpa	Requisitos mínimos adicionales.
Concreto en contacto con agua (Baja permeabilidad)	P1	0,5	28	
Concreto que requiere protección adicional del refuerzo contra la corrosión	C0	N/A	17	Considérese la aplicación de epóxicos, mayores recubrimientos y la presencia de iones cloruros.
	C1	0,5	17	
	C2	0,4	35	

Nota: Se toma el Reglamento Colombiano de construcción Sismo resistente NSR-10, Título C, apartado C.4.3.1 [19].

7.4.3 C5 – Calidad del hormigón, mezclado y colocación

La normativa NSR-10, proclama “Los requisitos de dosificación del concreto se basan en la filosofía de que el concreto debe tener una adecuada durabilidad y resistencia” 41 (NSR-10, 2010), es decir, antes de comenzar el diseño de una mezcla de concreto, se deben revisar todos los parámetros mencionados en el título anterior, con el propósito de encaminar el diseño desde la base de la durabilidad, que, a su vez, recomendará una resistencia mínima $f'c$ [8].

7.4.4 Dosificación según la NSR- 10

En el capítulo C.5.2 de la NSR-10, se especifican algunas recomendaciones y exigencias que se refieren específicamente a la dosificación del concreto, donde se recomienda revisar el documento dispuesto por el ACI 211.1, el cual define los métodos para seleccionar y ajustar la dosificación de un concreto de peso normal; sin embargo, la normativa Colombiana, concede al diseñador la libre elección del método de dosificación

siempre y cuando se logren satisfacer las condiciones propuestas por el mencionado título [8].

7.4.5 Apartados del reglamento colombiano en dosificación

En el caso de este proyecto de investigación es importante tener en cuenta los apartados de la norma donde se mencionan los parámetros a seguir.

- C.5.2.1 - La dosificación de los materiales para el concreto debe establecerse para lograr: a) Trabajabilidad y consistencia que permitan colocar fácilmente el concreto dentro del encofrado y alrededor del refuerzo bajo las condiciones de colocación que vayan a emplearse, sin segregación ni exudación excesiva. b) Resistencia a exposiciones especiales según lo requerido en el Capítulo C.4. c) Conformidad con los requisitos del ensayo de resistencia de C.5.6.

Inicialmente, y con el objetivo de cumplir lo previamente establecido, “El concreto debe dosificarse para que proporcione una resistencia promedio a la compresión, f'_{cr} , dicha resistencia promedio, cobijara las incertidumbres que acarrea el diseño, mezclado, colocación y mantenimiento del concreto con el objetivo de minimizar los riesgos consecuentes de la ocurrencia de un error accidental; el reglamento NSR-10 pretende primordialmente proteger la seguridad pública.

Según la NSR-10 la elección del valor de f'_{cr} dependerá de la disponibilidad de datos para establecer una desviación estándar de la muestra, por otra parte, El título C del reglamento hace hincapié en el empleo de la experiencia en obra o de mezclas de prueba de laboratorio como el método preferido para seleccionar la dosificación del concreto.

7.4.5.1 Control estadístico y de calidad. Posteriormente, se realizan las muestras de prueba atendiendo a los resultados del método de dosificación empleado y se justificará la veracidad de la mezcla por medio de ensayos de laboratorio que revelaran, estadísticamente, la evaluación y aceptación del material.

El reglamento contiene en uno de sus apartados el criterio de evaluación de una clase de concreto, declarando la siguiente condición:

- C.5.6.3.3 - El nivel de resistencia de una clase determinada de concreto se considera satisfactorio si cumple con los dos requisitos siguientes:
- Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos (Nota 1), es igual o superior a f^c .
- Ningún resultado del ensayo de resistencia (Nota 1) es menor que f^c por más de 3.5 MPa cuando f^c es 35 MPa o menor; o por más de $0.10f^c$ cuando f^c es mayor de 35 MPa.

Nota 1: Un ensayo de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de al menos dos probetas de 150 por 300 mm..., preparadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a 28 días o a la edad establecida para la determinación de f^c .

8. Metodología

Es de gran importancia clasificar el tipo de metodología ya que esta se relaciona directamente con la estructura general del proyecto de investigación.

8.1 Tipo de metodología

La investigación está enmarcada en un modelo cuantitativo, por tanto, se examinarán los datos de forma numérica, así mismo, es un proyecto factible y orientado hacia una investigación descriptiva ya que se busca especificar las propiedades importantes de un

fenómeno que será sometido a análisis. En el caso de este proyecto, unas patologías presentadas en los elementos estructurales que no tienen un buen comportamiento al fallo, siendo así una posible falencia de sus características físico – mecánicas.

Según Tamayo en su libro *Proceso de Investigación Científica*, la investigación descriptiva comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o proceso de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre grupo de personas, grupo o cosas, se conduce o funciona en presente.

Según Sabino, la investigación de tipo descriptiva trabaja sobre realidades de hechos, y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta. Para la investigación descriptiva, su preocupación primordial radica en descubrir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su estructura o comportamiento. De esta forma se pueden obtener las notas que caracterizan a la realidad estudiada.

Por otra parte, se asume de igual forma que el desarrollo del proyecto está relacionado y se lleva a cabo a partir de una investigación de carácter cuantitativo de tipo experimental ya que se trata de un proyecto que busca y/o requiere examinar el comportamiento de los fenómenos o hechos, a partir de la operación de cambios intencionados en las variables que los componen.

En el caso de este proyecto con enfoque cuantitativo según Hernández, F. (2010)., la experimentación se orienta hacia el estudio de relaciones entre las variables independiente y dependiente, para la descripción, análisis y/o explicación de fenómenos teniendo en cuenta el alcance del proyecto, aplicando una lógica deductiva y articulando el tema de investigación desde la teoría a la realidad.

En cuanto al planteamiento del problema, es delimitado, acotado, específico y poco flexible ya que la pregunta de investigación y los objetivos se encuentran definidos y estructurados en toda la investigación.

De igual forma, esta metodología se relaciona con la estructura del marco y la revisión de literatura central para establecer las variables de estudio y la hipótesis.

8.2 Diseño de la investigación

El presente proyecto tiene un diseño experimental, ya que se trata una situación de control, la cual se manipula, de manera intencional, una o más variables independientes (causas), para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes, que serían los efectos.

En el proyecto se tendrá en cuenta que se manipularán variables que se evalúan para analizar la problemática planteada, alcanzar los objetivos, lograr el alcance y el impacto del proyecto.

Uno de los parámetros fundamentales en la investigación, es la relación y el manejo de la muestra discretizada para establecer la hipótesis, para posteriormente analizarla por medio de la comprobación matemática y el análisis estadístico.

8.3 Variables

En el caso de la investigación en estudio, se tienen en cuenta las variables que se relacionan a los objetivos general y específicos. En este caso se identifican más de dos variables, entre las que se destaca la resistencia, comportamiento a carga y falla.

8.4 Lugar

De acuerdo con la información anterior, se define que el proyecto será desarrollado en la Ciudad de Bucaramanga, Santander.

El propósito de la investigación es realizar una prueba de fallo a flexión en una viga de hormigón armado disponiendo los agregados pétreos provenientes de las Canteras Unete y Charte. Por lo anteriormente mencionado, se tendrá en cuenta el transporte del material desde Aguazul, Casanare y las pruebas de laboratorio se realizarán en la Ciudad de Bucaramanga.

8.5 Instrumentos implementados

Entre los instrumentos implementados se menciona la Automax del laboratorio de la Universidad Santo Tomás en su seccional de Piedecuesta. Por otra parte, se implementan formaletas, vibrador, mezcladora, entre otros.

Cabe resaltar que los datos se registrarán en una matriz de análisis y en un formato de Excel.

Las técnicas de recolección de datos, son definidas por Tamayo como la expresión operativa del diseño de investigación y que específica concretamente como se hizo la investigación. Así mismo Bizquera define las técnicas como aquellos medios técnicos que se utiliza para registrar observaciones y facilitar el tratamiento de las mismas”.

8.6 Procedimiento

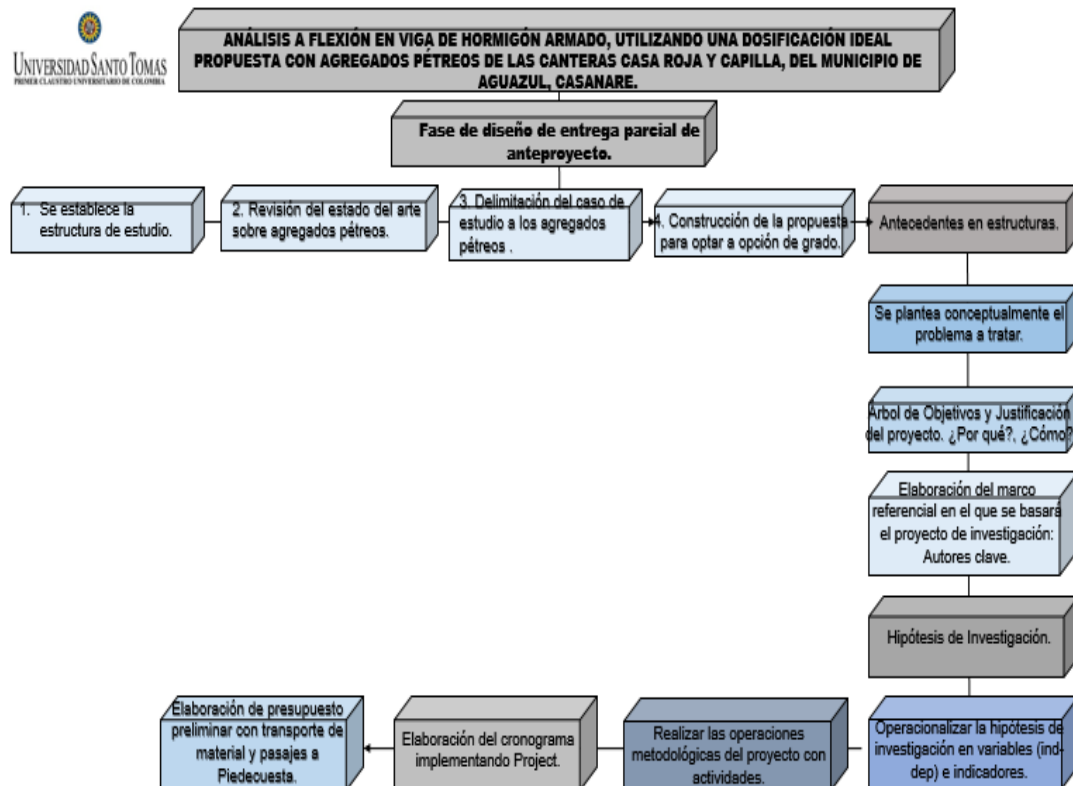
El procedimiento se presenta en la figura 11 y figura 12 donde se tiene en cuenta las fases del planteamiento en general del proyecto de investigación, hasta la fase de ejecución.

Este apartado del anteproyecto se hace importante para su desarrollo en sí, debido a que se plasma una secuencia de los compromisos que se deben cumplir en cada fase para tener una ejecución exitosa del proyecto de investigación.

Por otra parte, se integran pasos previos a la entrega del anteproyecto que ya deben estar cumplidos, entre los que se encuentra el diligenciamiento de los formatos 003 y 006, ya que este proyecto de investigación se desarrolla por medio del Semillero de Investigación (INAES), al cual la autora pertenece.

Los procesos institucionales clasificados tanto en las ilustraciones a continuación, como en la tabla de metodología resaltan el paso a paso del proyecto en estudio, tal como muestra la figura 11:

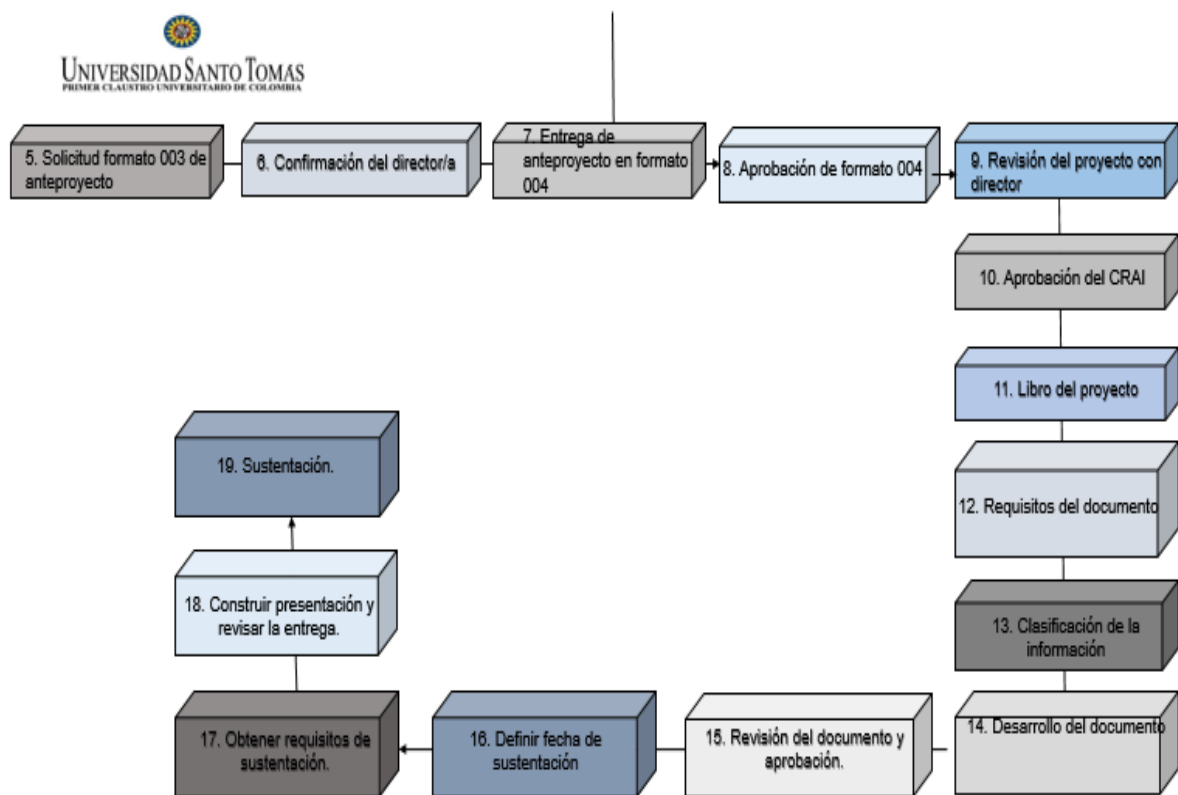
Figura 11. *Etapas de comité de grado para anteproyecto*



Se incluyen de igual manera, los procedimientos institucionales para la aprobación y entrega del proyecto de investigación entre las que están:

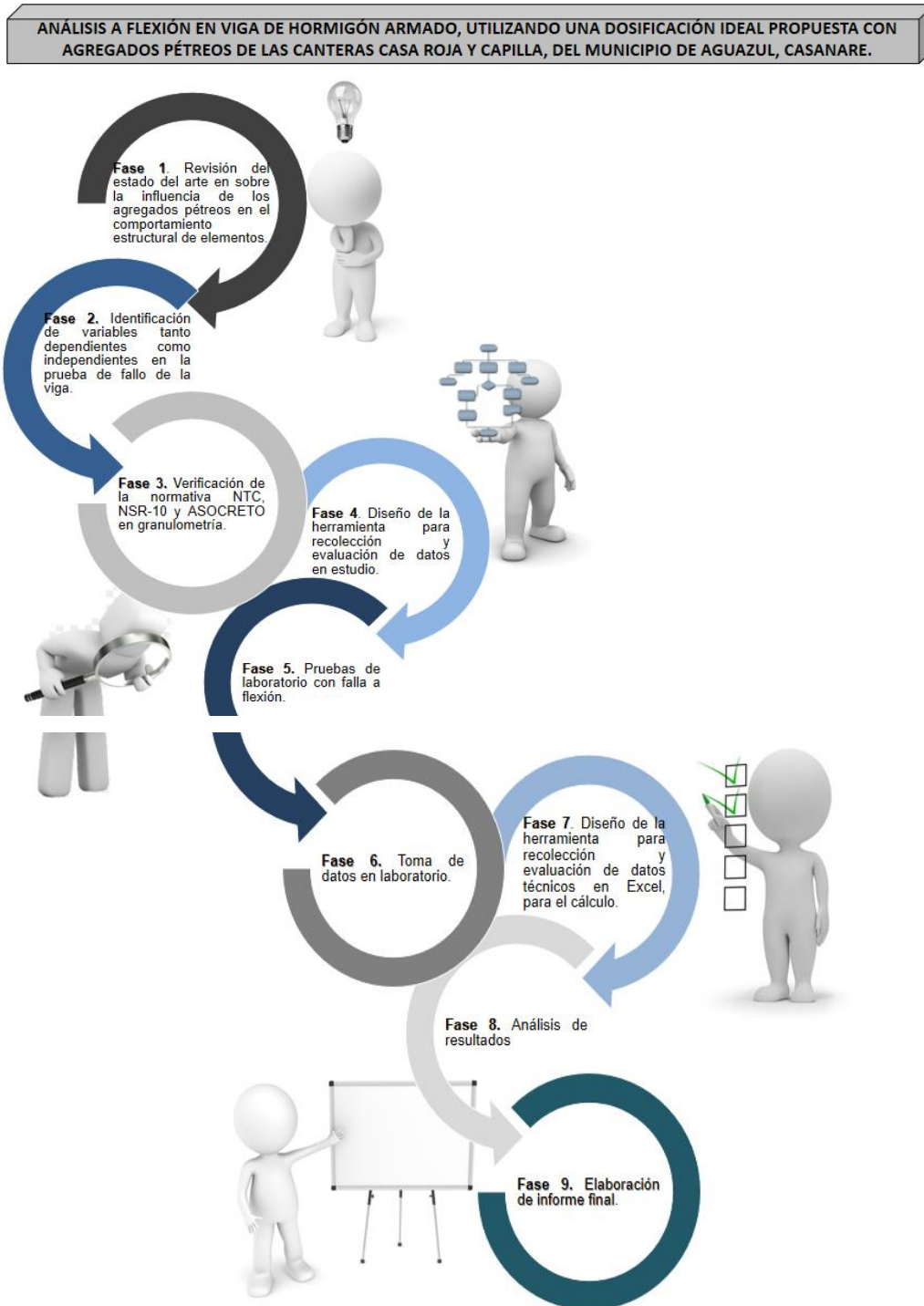
En este caso se tiene en cuenta que el proyecto tiene una línea de investigación con origen en el semillero de investigación INAES.

Figura 12. Procedimiento de anteproyecto semillero de investigación



Por otra parte, se elabora un diagrama que representa las fases de la ejecución del proyecto, tal como se aprecia en la figura 13:

Figura 13. *Fases de ejecución anteproyecto.*



Cada una de las fases anteriormente expuestas se proponen en la siguiente tabla, donde se relacionarán las actividades implicadas en la realización de cada objetivo, con sus respectivos actores.

El desarrollo Metodológico para lograr cada objetivo propuesto se encuentra en el Apéndice G.

Los títulos de resultados esperados, impacto, cronograma, presupuesto y componentes del anteproyecto están en el Apéndice A, Apéndice B, Apéndice C, Apéndice D y E.

9. Descripción del Río Charte para la explotación de material de arrastre

9.1 Generalidades del Río Charte

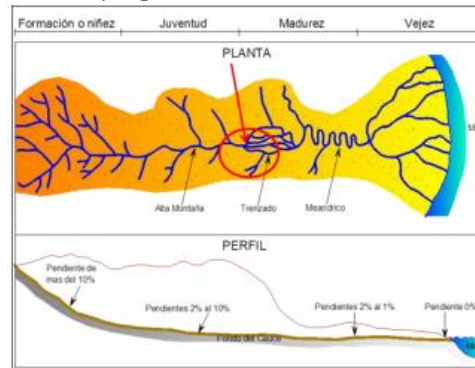
9.1.1 Localización y definición del Río

Según la unidad de planeación minero energética (UPME), el río Charte al descender desde las partes topográficamente más elevadas pasa de una zona de cañón en V con pendientes superiores al 10% en una etapa de niñez a juventud, desciende a pendientes menores a 10% (juventud-madurez) y finalmente encuentra pendientes menores al 2% (madurez) hasta desembocar en el río Cusiana.

Según Angulo, Buitrago y Lozano de acuerdo a la evolución que presenta el río Charte y el tramo evaluado en donde se localizan las zonas de explotación de material de arrastre se clasifica como un río Trenzado en etapa de transición de juventud a madurez, caracterizado por presentar varios canales y brazos que se entrelazan y separan dentro del cauce principal.

El ingeniero J. Suárez, brinda una ilustración de la formación o niñez hasta la vejez del río, tal como se puede apreciar en la figura 14:

Figura 14. Localización del tramo y tipo de río



Adaptado de Fonseca, L & Romero, E. (2015). *Localización del río y tipo de río* [40].

La morfología se encuentra relacionada con periodos de crecientes que descienden desde las partes altas por las cuales atraviesa, principalmente en época lluviosa cuando se incrementa significativamente el caudal. Al bajar el caudal, forman islas o barras de sedimentos que con el tiempo pueden desarrollar vegetación estacionaria o relativamente permanente. UPME, 2015.

La composición de los materiales acarreados en este tipo de río corresponde a cantos rodados, gravas gruesas y material arenoso que tienden a acumularse por adición de sedimentos en el extremo aguas abajo y en los lados; el extremo de aguas arriba es erosionado debido a los altos procesos denudacionales que se presentan en la zona más joven del río. Los materiales que forman las barras son depósitos residuales, es decir, acumulaciones de los tamaños mayores dado que los más finos (limos) son transportados por la corriente.

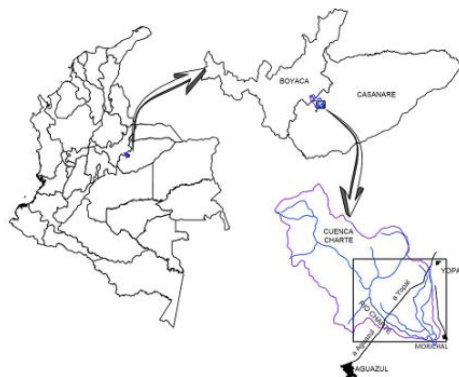
Una vez que la isla o barra de lecho es formada, se estabiliza debido a la sedimentación de material fino en la superficie durante las crecientes. Este tipo de río

trenzado se caracteriza por tener lechos amplios, rápidos y continuos cambios en la sedimentación y en la posición de los brazos. Contrato N° 005-2014, UPTC-UPME (2015) [41].

9.1.2 Localización del Río Charte

El Río en estudio geográficamente se localiza en el Departamento de Casanare, en jurisdicción de los municipios de Aguazul, Yopal y Maní, tal como se aprecia en la figura 15:

Figura 15. Localización del Río Charte



Adaptado de Fonseca, L & Romero, E. (2015). *Localización del Río Charte* [42].

El área de interés se encuentra en la plancha 212 a escala 1:100.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). La autoridad ambiental competente en el área corresponde a la Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia –CORPORINOQUIA- y respecto a temas mineros, la autoridad corresponde al Ministerio de Minas y Energía, Agencia Nacional de Minería PAR Nobsa. Angulo, J; Buitrago, J.; Lozano, F. (2015). Pág 107.

9.2 Generalidades de la cantera del Río Charte

9.2.1 Relieve

Según Fonseca el río Charte nace en la Cordillera Oriental en el cerro Comejoque en la cuchilla de los Estoraques a 3000 msnm en jurisdicción de los municipios de Pajarito y Labranzagrande en el Departamento de Boyacá y pasa por los municipios de Aguazul, Yopal y Maní en el Departamento de Casanare. Tiene una longitud de 163 km hasta su desembocadura en el río Cusiana (Maní). En su parte superior se caracteriza por presentar pendientes altas y fuertemente escarpadas y a medida que avanza en su recorrido va pasando a pendientes moderadas y luego a pendiente plana al entrar en la cuenca de los Llanos orientales, hasta desembocar en el río Cusiana a una altura de 200 msnm.

9.3 Geología

9.3.1 Geología regional

Según Angulo, Balanta, Buitrago, González, Guerra, Lozano, y Meza geológicamente forma parte de las estribaciones de la Cordillera Oriental, es decir un grupo de pequeñas montañas que derivan de una cordillera o sierra, en donde se definen tres conjuntos:

- Parte de la Cordillera Oriental: Presenta unas características especiales por la deformación a que fueron sometidas las rocas sedimentarias del Cretácico y Terciario.
- Por otra parte, el segundo conjunto está conformado por los abanicos y conos de deyección del piedemonte, con topografía ondulada a plana.

- Y finalmente, el tercer conjunto conformado por la llanura aluvial de desborde, que conforma el cuerpo central del departamento de Casanare.

Según el autor, la Cuenca del río, está localizada en el flanco oriental de la Cordillera Oriental, y forma parte de la cuenca de los Llanos Orientales. De acuerdo a la división geológica nacional, en unidades tectónicas y cuencas sedimentarias, según el estudio realizado, por el Ingeominas, Ecopetrol, 2000; Barrero et ál., 2007; la cuenca del río hace parte de la cuenca sedimentaria de la Cordillera Oriental, la cual, ha experimentado diferentes eventos geológicos y génesis, permitiendo la depositación y disposición de la secuencia de rocas sedimentarias del Cretácico y posteriormente rocas más jóvenes de edades del Paleógeno y Cuaternario que afloran en la zona de estudio [43].

9.3.1.1 Marco estratigráfico. Según el Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCA, estratigráficamente las unidades presentes se agrupan en tres regiones teniendo en cuenta sus características particulares de tectónica, aspectos geomorfológicos y cambios laterales de facies.

- Región de las estribaciones de la Cordillera Oriental: representados por la secuencia cretácica de origen marino correspondiente a las formaciones Lutital de Macanal, Areniscas de Las Juntas, Fómeque y Une; su parte superior incluye depósitos de transición constituido por la Formación Chipaque. Angulo, J.; Balanta, R., Buitrago, J.; González, D.; Guerra, J.; Lozano, F. Mesa, L. (2015) Pág 139.
- Región del piedemonte llanero: Afloran unidades con edades que van desde el Cretácico superior, Paleogeno hasta el cuaternario. Se encuentran las formaciones Une y Chipaque, el Grupo Palmichal con un ambiente de sedimentación marina, la

Formación Arcillas de El Limbo con un ambiente de depositación pantoanoso a lagunar marino, la Formación Areniscas El Limbo con un ambiente de depositación deltaico con influencia de lagunar marino, las formaciones San Fernando y Diablo las cuales se depositaron en un ambiente marino lagunar con influencia deltaica, la Formación Caja con ambiente fluvial de alta energía. Angulo, J.; Balanta, R., Buitrago, J.; González, D.; Guerra, J.; Lozano, F. Mesa, L. (2015) Pág 139.

- “Región de los Llanos Orientales: se encuentran depósitos cuaternarios no consolidados, sobrepuestos discordantemente sobre el paleógeno. Las formaciones San Fernando, Diablo, Caja y los depósitos cuaternarios se detallan en el apartado correspondiente a geología local”.

9.3.1.2 Formaciones. En este ítem se resaltarán algunas formaciones que se encuentran en el Río Charte, para caracterizar los tipos de agregados y minerales presentes en la cantera, la información se basa en el contrato N°5 005 de 2014 UPTC-UPME.

9.3.1.2.1 Formación Fόμεque. “Se caracteriza por alternancia de lutitas negras, interestratificadas con margas, limolitas grises y lentejones de calizas con frecuentes intercalaciones de areniscas cuarzosas grises claros de grano fino, micáceas estratificadas de poco espesor” [44].

9.3.1.2.2 Formación Une (Kiu). En esta formación se presentan areniscas de grano fino con intercalaciones de lutitas en la parte media. Las areniscas se encuentran en capas con estratificación delgada a gruesa, en potentes bancos, su color por lo general es gris oscuro y se encuentran también capas de colores claros.

Por otra parte, en la base de la formación se halla un banco de arenisca cuarzosa amarilla o cuarcítica gris intercalado entre arcillolitas visibles de color gris claro. Encima yacen gruesos bancos de arenisca cuarcítica blanca de grano fino a grueso muy compactos, que resaltan en la topografía formando zonas escarpadas característica de esta Formación. Según el autor, esta unidad es correlacionable con la Formación Une de la Sabana de Bogotá, pero de mayor espesor (cerca a 1200 m) [44].

9.3.1.3 Depósitos cuaternarios. En este ítem se resaltarán los agregados pétreos presentes en el Río Charte, se basan en la información del contrato N°005 – 2014 de la UPTC-UPME, pág 146.

9.3.1.3.1 Terraza de planicie aluvial. En esta terraza se generan morfología plana y en términos generales están constituidas principalmente por cantos y gravas de areniscas cuarzosas, algunos niveles de arenas, arcillas y lodos, poseen relativamente poco espesor y se encuentran generalmente aledañas a los ríos o haciendo parte de superficies de remodelado de las formaciones que están litológicamente constituidas en su mayor parte por materiales arcillosos. Son depósitos conformados por cantos y gravas de areniscas clastosoportadas cubiertos parcialmente por depósitos de arenas, limos y arcillas [44].

9.3.1.3.2 Depósito aluvial reciente (Qar). Son depósitos asociados a la zona por la que divaga el cauce del río y al material que la constituye, que han estado sometidos a inundación; están constituidos principalmente por cantos, bloques y gravas de composición

arenosa, depositados por la corriente del río en llanuras angostas conformando también barras dentro del cauce mayor [44].

Cuando las barras permanecen un tiempo relativamente largas, sin ser afectadas por las corrientes o intervenidas desarrollan vegetación aumentando la resistencia al socavamiento lateral y provocando la divagación del cauce dentro de la llanura aluvial. [44]

Estos depósitos aluviales presentan una marcada presencia de arenisca de grano medio a fino, de color claro, algunas con presencia de estratificación planoparalela así como se puede apreciar en la figura 16, también se observan areniscas conglomeráticas blancas, limolitas y arcillolitas de color café, marrón, gris, hasta negro, donde la selección y la redondez mejora a medida que el río se aleja del piedemonte. De otra parte, la granulometría del material del cauce decrece, hasta hacerse fina con presencia de arenas, limos y arcillas [44]. Los depósitos se encuentran en la figura 16.

Figura 16. *Depósitos cuaternarios aluvial reciente Río Charte*



Adaptado de Fonseca, L & Romero, E. (2015). *Depósitos cuaternarios aluvial reciente Río Charte* [44].

9.4 Distribución de tamaño de partícula

Corresponde a sedimentos clásticos (Arena y grava), material disgregado de fragmentos rocosos y minerales variados con granulometrías heterogéneas de 0.5 – 50 mm.

En los fragmentos de mayor tamaño se observa formas redondeadas. Los minerales y rocas menores a 2 mm presentan formas subangulosas a angulosas. Los fragmentos rocosos están compuestos por líticos de rocas sedimentarias [45].

De acuerdo con el sistema unificado de clasificación de la S.U.C.S, las muestras se clasifican en su gran mayoría como suelos tipo GP Grava mal gradada con arena; para uso en terraplenes es razonablemente estable, en respaldos permeables de diques y presas y como capacidad de soporte es buena; como fundación para carreteras y aeropistas es buena a excelente, como base directamente para carreteras y aeropistas es buena [45].

Por otra parte, en el estudio se verifica que de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de la S.U.C.S, las muestras se clasificadas como suelos tipo SW, Grava bien gradada; su uso principal es muy estable para terraplén, puede usarse para secciones permeables. Se necesita protección para los taludes; como capacidad de soporte es buena, como fundación para carreteras y aeropistas es buena, como base directamente para carreteras y aeropistas es deficiente [45]. El material de arrastre se puede ver en la figura 17.

Figura 17. *Material de arrastre Río Charte*



Adaptado de Fonseca, L & Romero, E. (2015). *Material de Arrastre Charte* [45].

10. Caracterización técnica del Río Únete para la explotación de material de Arrastre

10.1 Caracterización del Río Unete

Según la alcaldía del municipio de Aguazul el Río Únete se conforma por sedimentos acumulados en los depósitos de las márgenes ribereñas y en la parte central del cauce del río Únete, estos son renovados teniendo en cuenta las crecientes que presenta el río, esta sedimentación es determinada por la climática y el régimen torrencial de la zona.

10.1.1 Localización de la cantera Unete

Esta cantera en estudio está localizada a 1,300 m, del casco urbano del municipio de Aguazul, por la vía Aguazul-Maní a margen derecha, desde allí se desprende una vía sin pavimentar por la Finca Casa Roja, la cual conduce al río Únete a aproximadamente 2,000 m [46]. La localización exacta latitud $5^{\circ} 08'45.52''N$, longitud $72^{\circ}31'17.96''O$ a una elevación de 257 m como se aprecia en la figura 18, adaptada de Google Earth Pro.

Figura 18. Localización cantera Casa Roja, Río Unete



Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018).

10.1.2 Autorización de explotación y licencias de la cantera Casa Roja

Según la Alcaldía de Aguazul, la Cantera Casa Roja ubicada en el Río Unete, cuenta con la concesión (L685) y Registro Minero No. ICU-09111 del 16 de mayo de 2008, para un área de 223 Ha (aproximadamente) y una autorización de explotación de 50.000 m³ a 100.000 m³ de material otorgado por Ingeominas (hoy Agencia Nacional Minera). Así mismo, cuenta con Licencia Ambiental otorgada por Corporinoquia a través de la Resolución No.200.41.10-1383 del 5 de octubre de 2010 y la Res. No. 500.41.12-0785 de junio 13 de 2012, ésta última por un tiempo igual al título minero (28 años). (Alcaldía de Aguazul, 2018, p.7). La cantera se puede apreciar en la figura 19.

Figura 19. *Cantera Casa Roja, Río Unete ubicada en Aguazul, Casanare.*



Adaptado de Rojas, C & Peralta, F. (2020). *Cantera Casa Roja, Río Unete ubicada en Aguazul, Casanare* [46]

10.1.3 Geología de La cantera Casa Roja del Río Unete

Respecto a la geología es importante resaltar que el sector de la cantera Casa Roja está localizado “en la formación cuaternaria terrazas, con descripción cuaternarios de origen

Es importante resaltar que estos agregados son utilizados para la construcción de vías con distintos diseños de pavimentos y “los triturados de los bloques de roca sana de esta fuente son recomendados para concreto estructural, concreto asfáltico y base granular” [47].

11. Análisis del cumplimiento normativo

Se propone un análisis por medio de la tabla 6. Cabe resaltar que los resultados de laboratorio son tomados del trabajo realizado por los autores Rojas, F & Peralta, F. (2020)

Tabla 6. Análisis de las pruebas de laboratorio.

Pruebas de laboratorio en material de las canteras																															
Ensayo	Norma de referencia	Especificación	Cumple/No cumple																												
Grava angular color café y blanco, con tamaño máximo nominal ¾ Cantera Río Charte.	AG 38 ARTÍCULO 630-13, INVIAS.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">ESPECIFICACION</th> </tr> <tr> <th>Tamiz No</th> <th>Abertura (mm)</th> <th colspan="2">Porcentaje que pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 1/2 "</td> <td>37,50</td> <td>100</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 "</td> <td>25,00</td> <td>95</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>1/2 "</td> <td>12,50</td> <td>25</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>No.4</td> <td>4,75</td> <td>0</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>No.8</td> <td>2,36</td> <td>0</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	ESPECIFICACION				Tamiz No	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa		1 1/2 "	37,50	100		1 "	25,00	95	100	1/2 "	12,50	25	60	No.4	4,75	0	10	No.8	2,36	0	5	<ul style="list-style-type: none"> No cumple.
		ESPECIFICACION																													
Tamiz No	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa																													
1 1/2 "	37,50	100																													
1 "	25,00	95	100																												
1/2 "	12,50	25	60																												
No.4	4,75	0	10																												
No.8	2,36	0	5																												
AG-38 ARTICULO 630-13 INVIAS																															
Grava angular color café y blanco, con tamaño máximo nominal ½ Cantera Río Charte.	AG 25 ARTÍCULO 630-13, INVIAS.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">ESPECIFICACION</th> </tr> <tr> <th>Tamiz No</th> <th>Abertura (mm)</th> <th colspan="2">Porcentaje que pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 "</td> <td>25,00</td> <td>100</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/4 "</td> <td>19,10</td> <td>95</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>3/8 "</td> <td>9,50</td> <td>20</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>No.4</td> <td>4,75</td> <td>0</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>No.8</td> <td>2,36</td> <td>0</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	ESPECIFICACION				Tamiz No	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa		1 "	25,00	100		3/4 "	19,10	95	100	3/8 "	9,50	20	55	No.4	4,75	0	10	No.8	2,36	0	5	<ul style="list-style-type: none"> No cumple.
		ESPECIFICACION																													
Tamiz No	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa																													
1 "	25,00	100																													
3/4 "	19,10	95	100																												
3/8 "	9,50	20	55																												
No.4	4,75	0	10																												
No.8	2,36	0	5																												
AG-25 ARTICULO 630-13 INVIAS																															

Pruebas de laboratorio en material de las canteras																																											
<p>Arena grano grueso triturada, Charte y arena de río grano medio.</p>	<p>ARTÍCULO 500 y 630-13, INVIAS.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">ESPECIFICACION</th> </tr> <tr> <th>Tamiz No</th> <th>Abertura (mm)</th> <th colspan="2">Porcentaje que pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1/2"</td> <td>12,50</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>9,50</td> <td>100</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4,75</td> <td>95</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>2,36</td> <td>80</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>1,18</td> <td>50</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>0,60</td> <td>25</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>0,30</td> <td>10</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>0,15</td> <td>2</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table> <p>ARTICULO 500 y 630-13 INVIAS</p>	ESPECIFICACION				Tamiz No	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa		1/2"	12,50			3/8"	9,50	100		4	4,75	95	100	8	2,36	80	100	16	1,18	50	85	30	0,60	25	60	50	0,30	10	30	100	0,15	2	10	<ul style="list-style-type: none"> No cumple.
ESPECIFICACION																																											
Tamiz No	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa																																									
1/2"	12,50																																										
3/8"	9,50	100																																									
4	4,75	95	100																																								
8	2,36	80	100																																								
16	1,18	50	85																																								
30	0,60	25	60																																								
50	0,30	10	30																																								
100	0,15	2	10																																								
<p>Equivalente de arena (EQ) triturada de río charte, grano grueso, color café.</p>	<p>ARTÍCULO 300, ARTÍCULO 320, ARTÍCULO 330, ARTÍCULO 400 Y 600-13, INVIAS.</p>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>SUBBASE GRANULAR</td> <td>≥ 25</td> </tr> <tr> <td>BASE GRANULAR</td> <td>≥ 30</td> </tr> <tr> <td>MEZCLA ASFALTICA PARA CONCRETO</td> <td>≥ 50</td> </tr> <tr> <td></td> <td>≥ 60</td> </tr> </tbody> </table>	SUBBASE GRANULAR	≥ 25	BASE GRANULAR	≥ 30	MEZCLA ASFALTICA PARA CONCRETO	≥ 50		≥ 60	<ul style="list-style-type: none"> No cumple 																																
SUBBASE GRANULAR	≥ 25																																										
BASE GRANULAR	≥ 30																																										
MEZCLA ASFALTICA PARA CONCRETO	≥ 50																																										
	≥ 60																																										
<p>Equivalente de arena (EQ) de río charte, grano medio, color café.</p>	<p>ARTÍCULO 300, ARTÍCULO 320, ARTÍCULO 330, ARTÍCULO 400 Y 600-13, INVIAS.</p>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>SUBBASE GRANULAR</td> <td>≥ 25</td> </tr> <tr> <td>BASE GRANULAR</td> <td>≥ 30</td> </tr> <tr> <td>MEZCLA ASFALTICA PARA CONCRETO</td> <td>≥ 50</td> </tr> <tr> <td></td> <td>≥ 60</td> </tr> </tbody> </table>	SUBBASE GRANULAR	≥ 25	BASE GRANULAR	≥ 30	MEZCLA ASFALTICA PARA CONCRETO	≥ 50		≥ 60	<ul style="list-style-type: none"> Cumple 																																
SUBBASE GRANULAR	≥ 25																																										
BASE GRANULAR	≥ 30																																										
MEZCLA ASFALTICA PARA CONCRETO	≥ 50																																										
	≥ 60																																										
<p>Resistencia al desgaste en la máquina de los ángeles: grava angular color café y blanco, del río Charte ¾ & 1".</p>	<p>ARTÍCULO 300, ARTÍCULO 320, ARTÍCULO 330, ARTÍCULO 500 Y 600-13, INVIAS.</p>	<p>Depende de las revoluciones, la base, la subbase y el concreto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> No cumple. 																																								
<p>Partículas fracturadas en agregados. Grava ¾" café y Charte de 1/2".</p>	<p>NORMA 227-13 INVIAS.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">ESPECIFICACION</th> </tr> <tr> <th></th> <th colspan="3">% Minimo</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Clase C</th> <th>Clase B</th> <th>Clase A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Base Granular Una/Dos Caras</td> <td>50</td> <td>70/50</td> <td>100/70</td> </tr> <tr> <td></td> <td>NT1</td> <td>NT2</td> <td>NT3</td> </tr> <tr> <td>Mezcla Asfáltica en caliente, Una Cara. Rodadura/Intermedia/Base</td> <td>75/60/-</td> <td>75/75/60</td> <td>85/75/60</td> </tr> <tr> <td>Mezcla Asfáltica en caliente, Dos Caras. Rodadura/Intermedia/Base</td> <td>-/-</td> <td>60/-</td> <td>70/-</td> </tr> <tr> <td>Agregado Concreto Hidráulico. Una Cara</td> <td></td> <td>60</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>ARTICULO 330-13, 450-13, 500-13 INVIAS</p>	ESPECIFICACION					% Minimo				Clase C	Clase B	Clase A	Base Granular Una/Dos Caras	50	70/50	100/70		NT1	NT2	NT3	Mezcla Asfáltica en caliente, Una Cara. Rodadura/Intermedia/Base	75/60/-	75/75/60	85/75/60	Mezcla Asfáltica en caliente, Dos Caras. Rodadura/Intermedia/Base	-/-	60/-	70/-	Agregado Concreto Hidráulico. Una Cara		60		<ul style="list-style-type: none"> Sí cumple. 								
ESPECIFICACION																																											
	% Minimo																																										
	Clase C	Clase B	Clase A																																								
Base Granular Una/Dos Caras	50	70/50	100/70																																								
	NT1	NT2	NT3																																								
Mezcla Asfáltica en caliente, Una Cara. Rodadura/Intermedia/Base	75/60/-	75/75/60	85/75/60																																								
Mezcla Asfáltica en caliente, Dos Caras. Rodadura/Intermedia/Base	-/-	60/-	70/-																																								
Agregado Concreto Hidráulico. Una Cara		60																																									

Pruebas de laboratorio en material de las canteras			
ESPECIFICACION			
	% Minimo		
	Clase C	Clase B	Clase A
Base Granular Una/Dos Caras	50	70/50	100/70
	NT1	NT2	NT3
Mezcla Asfáltica en caliente, Una Cara. Rodadura/Intermedia/Base	75/60/-	75/75/60	85/75/60
Mezcla Asfáltica en caliente, Dos Caras. Rodadura/Intermedia/Base	-/-	60/-	70/-
Agregado Concreto Hidráulico, Una Cara		60	
ARTICULO 330-13, 450-13, 500-13 INVIAS			

Tabla 7. Análisis del cumplimiento normativo arena triturada Río Únete

Cantera Casa Roja: Río Unete			
Ensayo de granulometría del tipo: Arena Triturada		Normativa base: NTC 174 Concretos / Artículo 630-13 Concreto Estructural INVIAS	
Prueba de ensayo 1.	Apartado de la Norma Técnica que se aplica.	¿Qué agregado se estudia en este laboratorio?	
Granulometría: Se refiere al tamaño de las partículas y el porcentaje o distribución de estas en una masa de agregado. Se determina mediante el análisis granulométrico, que consiste en hacer pasar una determinada cantidad de agregado a través de una serie de tamices standard. La operación de tamizado se debe realizar según la norma INVE 123-07.	<ul style="list-style-type: none"> • INV 123 – 213 • Tabla 630-2 “Granulometría del agregado fino para concreto estructural” 	Agregado grueso	Agregado fino
Resultado de laboratorio.	¿Cumple especificaciones técnicas?	Discusión	Discusión
Ilustración 18.	No cumple		Arena grano grueso producto trituración color amarillo. Masa original = 5.622 g

			Masa después de lavada= 4.712 g. Según la clasificación SUCS SP-SM “Arena limosa pobremente gradada según la ASSTHO clasificación A-3 “Arena fina”. Módulo de finura = 2.8
--	--	--	--

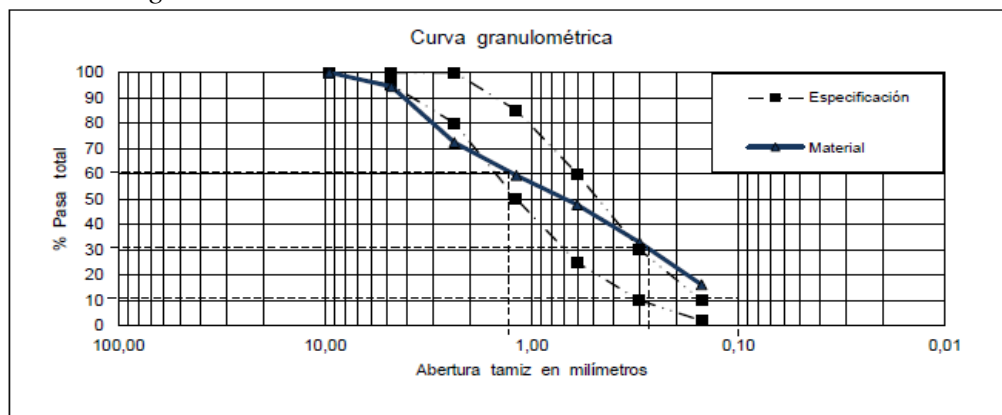
Los resultados del laboratorio de granulometría del agregado fino para concreto estructural se muestran en la figura 21 y figura 22:

Figura 21. *Granulometría del agregado fino para concreto estructural*

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)						
	9.5 3/8"	4.75 No. 4	2.36 No. 8	1.18 No. 16	0.6 No. 30	0.3 No. 50	0.15 No. 100
	PORCENTAJE QUE PASA (%)						
UNICA	100	95-100	80-100	50-85	25-60	10-30	2-10

Adaptado de Normas y especificaciones INVIAS, *INVE 630-13*

Figura 22. *Curva granulométrica arena triturada Unete*

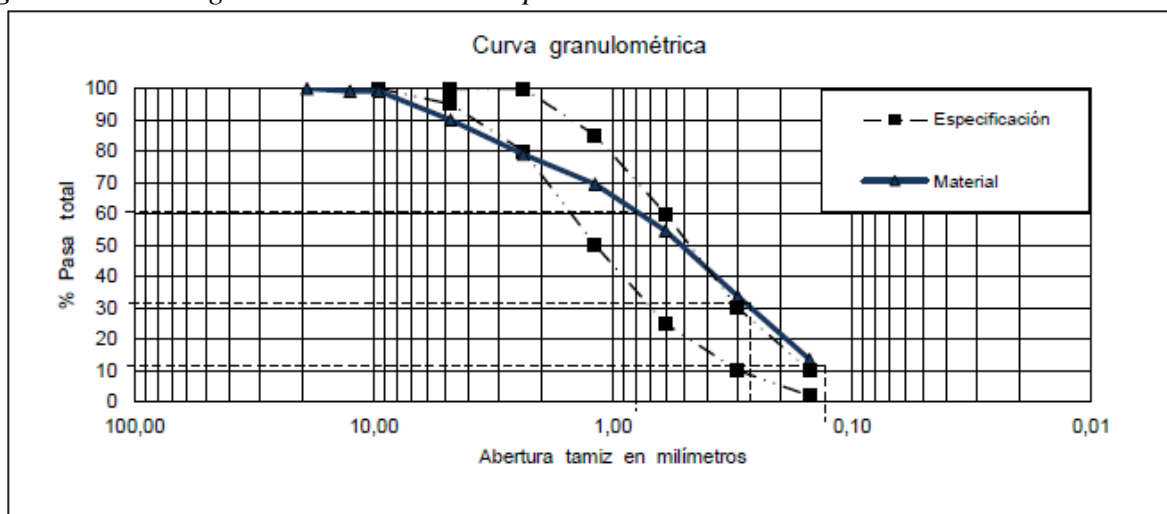


Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). *Curva granulométrica arena triturada Unete* [22]

		que es SP-SM o por clasificación ASSTHO A-3: Una arena limosa pobremente graduada, Arena fina. Módulo de finura = 2.6.
--	--	--

En la figura 23 aprecia la curva granulométrica del material de la Cantera la Capilla.

Figura 23. Curva granulométrica de la Capilla de la cantera Río Charte.



Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). *Curva granulométrica arena triturada Charte* [22]

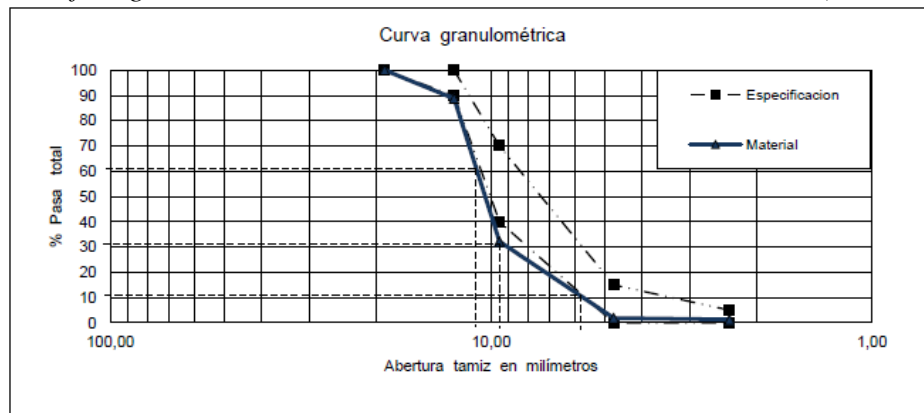
Teniendo en cuenta la INV E 214 “Determinación de material fino que pasa el tamiz 75 μm ”, y la NTC 174, se presenta un módulo de finura que oscila entre los valores permitidos por la norma 630-13 en su apartado 630.2.2.1. Por otra parte, el porcentaje que pasa por el tamiz 200 por lavado de la Cantera del Río Únete es de 9.1, y el de la cantera del Río Charte es de 7.4, por lo que pasa el porcentaje máximo de 5% expuesto en la norma.

Cuando en los laboratorios no se cumplen los valores de las especificaciones representa una mala gradación, ya que las curvas granulométricas presentadas en ambos

		<p>polvo, tierra, terrones de arcilla. INVIAS. Debe cumplir con las especificaciones de la tabla 630-3 y las gradaciones estarán sujetas a las especificaciones de la tabla 630-4.</p>	
--	--	--	--

En la figura 24 se encuentra la granulometría en tamaño de media pulgada para el Río Charte.

Figura 24. Gráfica granulométrica del triturado tamaño nominal $\frac{1}{2}$ " del (Río Charte)

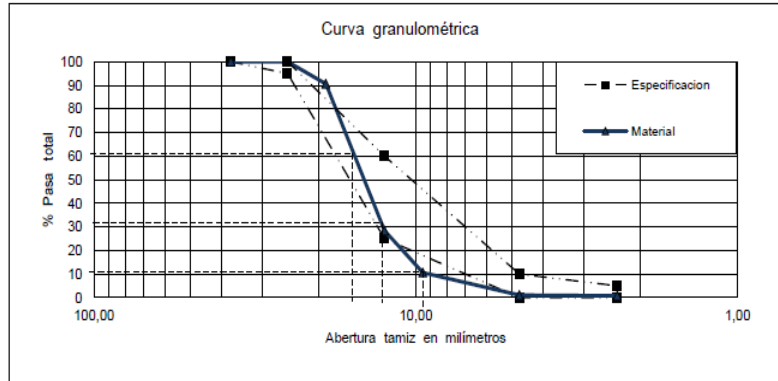


Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Gráfica granulométrica del triturado tamaño nominal $\frac{1}{2}$ " del (Río Charte) [22]

Por otra parte, en la figura 25 se encuentra la granulometría para el agregado de tamaño de tres cuartos de pulgada.

Se tiene en cuenta la curva de referencia según las especificaciones técnicas y la curva de los materiales pétreos en cuestión.

Figura 25. Gráfica granulométrica triturado tamaño nominal 3/4" cantera La Capilla (Río Charte)



Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Gráfica granulométrica triturado tamaño nominal 3/4" cantera La Capilla (Río Charte) [22]

En el caso de la grava angular color café y blanco con tamaño máximo nominal 1/2", según el apartado 630.2.2.2 de la norma INVE, la curva granulométrica deberá ser continua y asemejarse a las teóricas según la INVE. Según la clasificación SUCS es una GP, grava pobremente gradada, o según la ASSTHO en la clasificación A1 con gravas con índice plástico menor o igual a 6, que en el laboratorio NP. La masa original es de 15.926 g, y después de lavada es de 15.716 g.

El porcentaje que retiene el tamiz N°4 es de 98.1% y el que pasa es de 1.9%. Por otra parte, el de 3/4" tiene un % que retiene el tamiz No4 de 98.9% y pasa un total de 1.1%, su masa original era de 15.692 g y lavada decrece a 15.575 g, lo anterior con base a la figura 26 y 27 según las especificaciones del INVIAS.

La clasificación ASSTHO se divide en dos categorías de materiales granulares y materiales limo - arcillosos desde el nivel A-1, hasta A-7.

Figura 26. Clasificación ASSTHO

DIVISIÓN GENERAL		Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
GRUPO		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo		A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	# 10	≤ 50											
	# 40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
	# 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
Límite líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	≤ 4		≤ 8		≤ 12		≤ 20		≤ 20	
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA						

Adaptado de INVIAS. *Análisis granulométrico de suelos por tamizado INVE 123-07.*

Figura 27. Especificaciones

ESPECIFICACION			
Tamiz No	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa	
1 1/2 "	37,50	100	
1 "	25,00	95	100
1/2 "	12,50	25	60
No.4	4,75	0	10
No.8	2,36	0	5

AG-38 ARTICULO 630-13 INVIAS

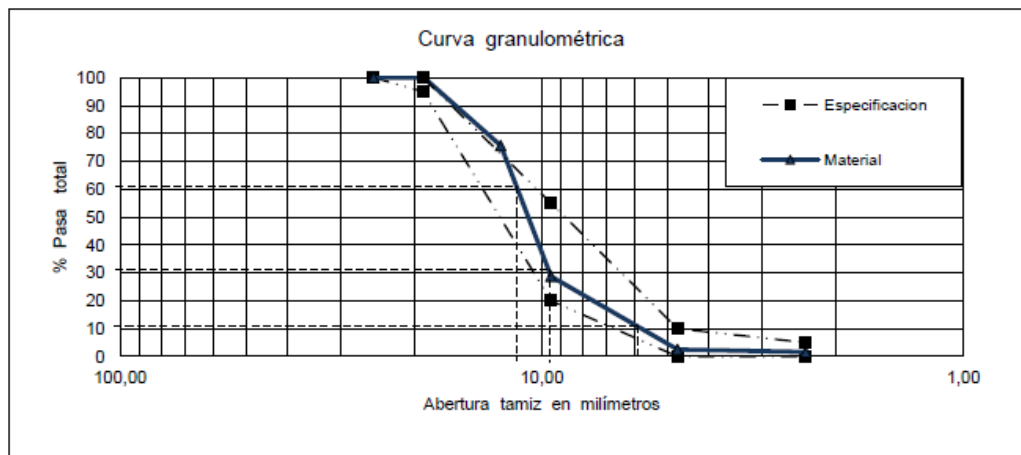
Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). *Especificaciones* [22]

En la tabla 10 se aprecia la granulometría de los dos tamaños de material de la Cantera Únete. Se siguen trabajando los tamaños nominales para los agregados de ¾ de pulgada y ½ pulgada.

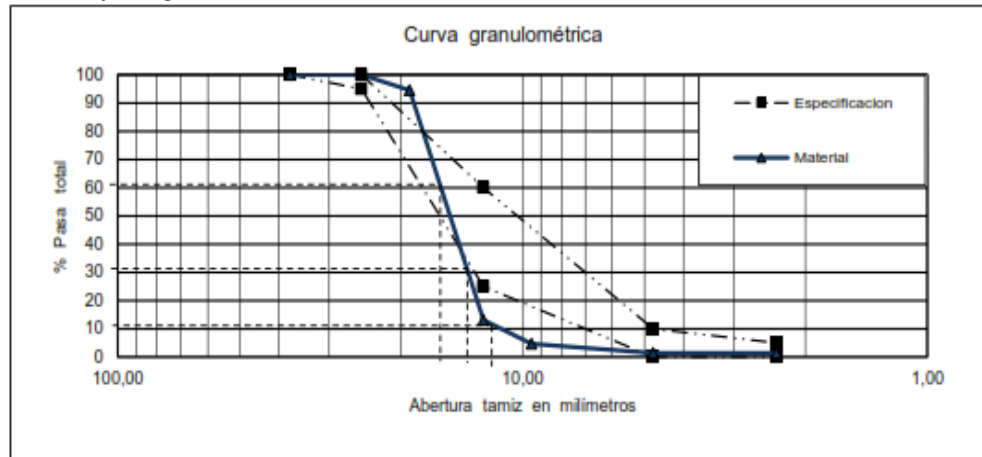
		Estarán exentos de polvo, tierra, terrones de arcilla. INVIAS. Debe cumplir con las especificaciones de la tabla 630-3 y las gradaciones estarán sujetas a las especificaciones de la tabla 630-4.	
--	--	--	--

La curva granulométrica para cada tamaño de material se aprecia en la figura 28 y en la figura 29.

Figura 28. Gráfica granulométrica triturado tamaño nominal 1/2" cantera Casa Roja (Río Únete).



Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Gráfica granulométrica triturado tamaño nominal 1/2" (Río Únete) [22].

Figura 29. Gráfica granulométrica triturado tamaño nominal 3/4" cantera Casa Roja

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Gráfica granulométrica triturado tamaño nominal 3/4" Cantera Casa Roja [22]

Respecto a la grava angular color café y blanco con tamaño máximo nominal de 1/2" se reporta una masa original de 12.675 g y después de lavada representa un 12.467 g. Como especificación se tiene en cuenta el AG 25 Artículo 630-13 INVIAS, donde se registra un aumento en el material que pasa el tamiz No 4 y el No 8. El porcentaje total que retiene el tamiz No.4 es de 97.5% y el porcentaje total que pasa es de 2.5%.

Por otra parte, respecto a la grava angular color café y blanco con tamaño máximo nominal 3/4", se clasifica de igual manera como una grava pobremente gradada, con un porcentaje que retiene totalmente el tamiz No. 4 de 98.6% y un porcentaje que pasa de 1.4%. Su masa original es de 13.749 g y después de lavada 13.556 g.

Por otra parte, se tiene en cuenta la especificación AG38 Artículo 630-13 INVIAS donde se aprecia que el material registrado en los resultados de la granulometría es menor al estipulado en la especificación en los tamices No. 4 y No. 8, es por eso que en las curvas granulométricas se puede apreciar que falta un poco para que la curva del material esté

alineada con la de la especificación, sin embargo, estos resultados no permiten que el agregado cumpla las normas técnicas. Las especificaciones del INVIAS se encuentra en la figura 30.

Figura 30. Especificaciones agregado grueso Únete.

ESPECIFICACION			
Tamiz No	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa	
1 1/2 "	37,50	100	
1 "	25,00	95	100
1/2 "	12,50	25	60
No.4	4,75	0	10
No.8	2,36	0	5

AG-38 ARTICULO 630-13 INVIAS

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). *Especificaciones agregado grueso Únete* [22].

Cabe resaltar que, en la granulometría se presenta un mejor comportamiento en el agregado grueso de la Cantera Únete de 1/2", al igual que en la del río Charte en el tamaño de 1/2", teniendo en cuenta que se presenta un comportamiento continuo y se sale un poco de la teórica.

- Por otra parte, se analiza la normativa que involucra el ensayo equivalente de arena.

Tabla 11. Análisis de ensayo equivalente de arena para la cantera Casa Roja Río Únete

Cantera Casa Roja: Río Únete.		
Ensayo de granulometría del tipo: Ensayo equivalente de arena.		Normativa base: NTC 174 Concretos / Artículo 630-13 Concreto Estructural INVIAS
Prueba de ensayo 1.	Apartado de la Norma Técnica que se aplica.	¿Qué agregado se estudia en este laboratorio?

Figura 31. *Ensayo de equivalente de arena cantera del río Únete, resultados.*

NORMA DE ENSAYO INVIAS E-133-13			
PROBETA N°	1	2	3
LECTURA DE ARENA mm	94	96	96
LECTURA DE ARCILLA mm	155	158	160
EQUIVALENTE DE ARENA	61	61	60

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). *Ensayo de equivalente de arena cantera del río Únete, resultados.* [22]

Figura 32. *Ensayo de equivalentes de arena cantera del río Charste, resultados.*

NORMA DE ENSAYO INVIAS E-133-13			
PROBETA N°	1	2	3
LECTURA DE ARENA mm	105	102	103
LECTURA DE ARCILLA mm	188	186	187
EQUIVALENTE DE ARENA	56	55	55

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). *Ensayo de equivalentes de arena cantera del río Charste, resultados* [22].

Respecto a la Cantera del río Únete con la arena de grano grueso producto de trituración color amarillo con el Artículo 300, 320,300, 400 y 630-13 INVIAS como la normativa técnica, se puede deducir que al obtener como resultado 61% para el uso de concreto según las especificaciones debe ser ≥ 60 , por lo que se estaría cumpliendo casi a ras con la norma, obteniendo un “valor empírico de la cantidad relativa de finos presente en el agregado de estudio” INVE 133.

Por otra parte, la arena de grano grueso producto de trituración color café de la cantera del río Charste, amarillo con el Artículo 300, 320,300, 400 y 630-13 INVIAS como la

de finos producto de la acción mecánica .			
Resultado de laboratorio.	¿Cumple especificaciones técnicas?	Discusión	Discusión
Ilustración 29.	Cumple		Para bases se requiere más de 90 KN. Después de húmeda la penetración sigue siendo 20 mm, la masa aumenta 18.9 g, de igual manera la masa retenida húmeda aumenta 100.4 g de la muestra seca y el porcentaje de finos producido en la muestra húmeda disminuye un 3.01%. Finalmente, la carga de la muestra húmeda pasa de 109.3[KN] (Muestra seca) a un 91.9 [KN], después de húmeda.

Tabla 14. *Análisis cumplimiento de la normativa ensayo de resistencia mecánica Charte.*

Cantera La Capilla del Río Charte.		
Ensayo de resistencia mecánica del agregado grueso por el método del 10% de agregados finos		Normativa base: NTC 174 Concretos / Artículo 630-13 Concreto Estructural INVIAS
Prueba de ensayo 1.	Apartado de la Norma Técnica que se aplica.	¿Qué agregado se estudia en este laboratorio?

Figura 33. Norma de ensayo INVIAS E-224-13, Ensayo de resistencia mecánica del agregado grueso por el método del 10% de agregados finos, resultados Únete.

NORMA DE ENSAYO INVIAS E-224-13			
MUESTRA SECA		MUESTRA HUMEDA	
PENETRACION mm	20	PENETRACION mm	20
MASA INICIAL (g)	2763,5	MASA INICIAL (g)	2782,4
MASA RETENIDA (g)	2421,3	MASA RETENIDA (g)	2521,7
% DE FINOS PRODUCIDO	12,38	% DE FINOS PRODUCIDO	9,37
CARGA kN	109,3	CARGA kN	91,9

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Norma de Ensayo INVIAS E-224-13, Ensayo de resistencia mecánica del agregado grueso por el método del 10% de agregados finos, Resultados Únete [22].

Figura 34. Norma de ensayo INVIAS E-224-13, Ensayo de resistencia mecánica del agregado grueso por el método del 10% de agregados finos, resultados Charte.

NORMA DE ENSAYO INVIAS E-224-13			
MUESTRA SECA		MUESTRA HUMEDA	
PENETRACION mm	20	PENETRACION mm	20
MASA INICIAL (g)	2702,1	MASA INICIAL (g)	2741,9
MASA RETENIDA (g)	2389,8	MASA RETENIDA (g)	2497,1
% DE FINOS PRODUCIDO	11,56	% DE FINOS PRODUCIDO	8,93
CARGA kN	120,5	CARGA kN	102,2

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Norma de Ensayo INVIAS E-224-13, Ensayo de resistencia mecánica del agregado grueso por el método del 10% de agregados finos, Resultados Charte [22].

Respecto al cumplimiento de la grava angular color café y blanco de la cantera del Río Únete, según las especificaciones estipuladas en el artículo 330 y 450-13 INVIAS está cumpliendo el valor en seco y el valor húmedo ya que para el valor de base granular son

mayores a 90 en el valor seco y mayores a 75 en el caso del valor húmedo, siendo los resultados de 109.3 KN y 91.9 KN tal como se ve en la figura 35:

Figura 35. Especificación de la resistencia mecánica del método 10%, Únete.

ESPECIFICACION		
MATERIAL	Valor en Seco	Valor Húmedo
BASE GRANULAR - CLASE A (NT3)	≥ 90	≥ 75
BASE GRANULAR - CLASE B (NT2)	≥ 70	≥ 75
Rodadura/Intermedia/Base NT3	≥ 110 / 90 / 75	≥ 75 / 75 / 75
ARTICULO 330 y 450-13 INVIAS		

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). *Especificación de la Resistencia mecánica del método 10%, Únete* [22].

Por otra parte, respecto al cumplimiento de la grava angular color café y blanco de la cantera del Río Únete, según las especificaciones estipuladas en el artículo 330 y 450-13 INVIAS está cumpliendo el valor en seco y el valor húmedo ya que para el valor de base granular son mayores a 90 en el valor seco y mayores a 75 en el caso del valor húmedo, siendo los resultados de 120.5 KN y 102.2 KN respectivamente según las especificaciones mostradas en la figura 36.

Figura 36. Especificación de la resistencia mecánica del método 10%, Charte.

ESPECIFICACION		
MATERIAL	Valor en Seco	Valor Húmedo
BASE GRANULAR - CLASE A (NT3)	≥ 90	≥ 75
BASE GRANULAR - CLASE B (NT2)	≥ 70	≥ 75
Rodadura/Intermedia/Base NT3	≥ 110 / 90 / 75	≥ 75 / 75 / 75
ARTICULO 330 y 450-13 INVIAS		

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). *Especificación de la Resistencia mecánica del método 10%, Charte* [22].

		<p>Casa Roja del río Únete.</p> <p>Respecto al índice de aplanamiento como resultado de ½” se tiene un porcentaje de 13.8%.</p> <p>Por otra parte, respecto al índice de aplastamiento del material de ¾” de la misma cantera, resulta un porcentaje de 22.6%.</p>	
--	--	--	--

Los índices obtenidos en los resultados de laboratorio se muestran en las figuras 37 y 38:

Figura 37. Resultados de laboratorio de aplanamiento en la cantera del Río Únete de ½”

NORMA DE ENSAYO INVIAS E-230-13					
Tamiz No.	Peso Total C/D fraccion (gr)	Partículas que pasan (gr)	Índice de Aplanamiento de la fracción (%)	Gradación %	Promedio de partículas aplanadas
¾”	0	0	0,0	0,0	0,0
½”	788,4	172,9	21,9	24,4	535,1
¾”	1024,3	97,5	9,5	46,8	445,5
Sumas	1812,7	270,4		71,2	980,6

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Resultados de laboratorio de aplanamiento en la Cantera del Río Únete de ½ [22]

Figura 38. Resultados de laboratorio de aplanamiento en la cantera Únete de ¾”

NORMA DE ENSAYO INVIAS E-230-13					
Tamiz No.	Peso Total C/D fraccion (gr)	Partículas que pasan (gr)	Índice de Aplanamiento de la fracción (%)	Gradación %	Promedio de partículas aplanadas
1”	0	0	0,0	0,0	0,0
¾”	582,8	80,2	13,8	5,6	77,1
½”	1406,7	358,5	25,5	81,4	2074,5
¾”	864,5	61,5	7,1	8,4	4,4
Sumas	2854	500,2		95,4	2155,9

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Resultados de laboratorio de aplanamiento en la cantera Únete de ¾ [22]

		<p>Casa Roja del río Únete.</p> <p>Respecto al índice de aplanamiento como resultado de ½” se tiene un porcentaje de 9.5%.</p> <p>Por otra parte, respecto al índice de aplastamiento del material de ¾” de la misma cantera, resulta un porcentaje de 10%.</p>	
--	--	---	--

Igualmente, en la cantera del Río Charste se presentan los índices mostrados en las figuras 39 y 40.

Figura 39. Resultado de ensayo de aplanamiento ½” de la cantera del río Charste.

NORMA DE ENSAYO INVIAS E-230-13					
Tamiz No.	Peso Total C/D fraccion (gr)	Particulas que pasan (gr)	Indice de Aplanamiento de la fracción (%)	Gradación %	Promedio de particulas aplanadas
¾”	0	0	0,0	0,0	0,0
½”	1549,3	257,8	16,6	11,2	186,4
3/8”	978,6	79,1	8,1	56,5	456,7
Sumas	2527,9	336,9		67,7	643,1

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Resultado de ensayo de aplanamiento ½” de la cantera del río Charste [22].

Figura 40. Resultado de ensayo de aplanamiento ¾” de la cantera del río Charste.

NORMA DE ENSAYO INVIAS E-230-13					
Tamiz No.	Peso Total C/D fraccion (gr)	Particulas que pasan (gr)	Indice de Aplanamiento de la fracción (%)	Gradación %	Promedio de particulas aplanadas
1”	0	0	0,0	0,0	0,0
¾”	723,3	93,1	12,9	9,4	121,0
½”	2576,0	257,8	10,0	62,2	622,5
3/8”	924,4	79,1	8,6	17,7	151,5
Sumas	4223,7	430		89,3	894,9

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Resultado de ensayo de aplanamiento ¾” de la cantera del río Charste [22].

En el caso de este ensayo de laboratorio, se tiene en cuenta que respecto al material en estudio de la Cantera Casa Roja en el Río Únete, con grava angular color café y blanco con tamaño máximo nominal de ½” y ¾” están cumpliendo con la especificación del Artículo 330-13 INVIAS que estipula que para la base granular el índice debe ser ≤ 35 y para concreto ≤ 25 , con unos resultados de 13.8 y 22.6%.

Por otra parte, respecto al índice de aplanamiento de la grava angular color café y blanco con tamaño máximo nominal ¾” también se está cumpliendo con la especificación del Artículo 330-13 INVIAS que estipula que para la base granular el índice debe ser ≤ 35 y para concreto ≤ 25 , con unos resultados de 9.5 % y 10%. Como se aprecia en los porcentajes, la cantera La Capilla del Río Charte presenta mejor índice de aplanamiento.

Tabla 17. Análisis de los resultados ensayo de partículas alargadas de la cantera Casa Roja, Río Únete.

Cantera Casa Roja, río Únete.			
Ensayo de partículas alargadas Cantera Casa Roja, Únete.		Normativa base: NTC 174 Concretos / Artículo 630-13 Concreto Estructural INVIAS	
Prueba de ensayo 1.	Apartado de la Norma Técnica que se aplica.	¿Qué agregado se estudia en este laboratorio?	
Este método de prueba cubre la determinación de los porcentajes de las partículas planas, alargadas o alargadas y planas de agregado grueso. Se tienen en cuenta los	<ul style="list-style-type: none"> Inv. E230-13 	Agregado grueso	Agregado fino
		x	

requerimientos de metodología expuestos en la normativa para las relaciones dimensionales deseadas.			
Resultado de laboratorio.	¿Cumple especificaciones técnicas?	Discusión	Discusión
Figura 37 & 38	Cumple	<p>25% Máximo según la normativa en vigencia.</p> <p>En este caso, se estudian los dos tamaños del material analizado de la Cantera Casa Roja del río Únete.</p> <p>Respecto al índice de alargamiento como resultado de ½” se tiene un porcentaje de 12.9%.</p> <p>Por otra parte, respecto al índice de alargamiento del material de ¾” de la misma cantera, resulta un porcentaje de 16.9%.</p>	

Tabla 18. *Análisis de los resultados del ensayo de partículas alargadas para la cantera la capilla, río Charte.*

Cantera La Capilla, Río Charte.	
Ensayo de partículas alargadas Cantera La Capilla, Río Charte.	<p>Normativa base: NTC 174 Concretos / Artículo 630-13</p> <p>Concreto Estructural INVIAS</p>

En las figuras 41 y 42 se encuentran los resultados del ensayo de alargamiento para los dos tamaños del agregado de la Cantera Casa Roja del Río Únete.

Figura 41. Resultados de ensayo de alargamiento en la cantera del río Únete, ½”

NORMA DE ENSAYO 230-13 INVIAS					
Tamiz No.	Peso Total Fraccion (gr)	Particulas que no pasan (gr)	Indice de Alargamiento de la fracción (%)	Gradación %	Promedio de particulas alargadas
3/4"	0	0	0,0	0,0	0,0
1/2"	788,4	53,6	6,8	24,4	165,9
3/8"	1024,3	165,1	16,1	46,8	754,3
Sumas	1812,7	218,7		71,2	920,2

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Resultados de ensayo de alargamiento en la cantera del río Únete, ½ [22].

Figura 42. Resultados del índice de alargamiento de la fracción en el material de la cantera del Río Únete ¾”

NORMA DE ENSAYO 230-13 INVIAS					
Tamiz No.	Peso Total Fraccion (gr)	Particulas que no pasan (gr)	Indice de Alargamiento de la fracción (%)	Gradación %	Promedio de particulas alargadas
1"	0	0	0,0	0,0	0,0
3/4"	582,8	61,3	10,5	5,6	58,9
1/2"	1406,7	252,5	17,9	81,4	1461,1
3/8"	864,5	284,9	33,0	8,4	93,9
Sumas	2854,0	598,7		95,4	1613,9

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Resultados del Índice de alargamiento de la fracción en el material de la cantera del Río Únete ¾” [22].

Los índices de alargamiento de la Cantera del Río Charste se encuentran las figuras 43 y 44 con cada tamaño respectivamente.

Figura 43. Resultados del índice de alargamiento de la fracción en la cantera del Río Charte ½”

NORMA DE ENSAYO 230-13 INVIAS					
Tamiz No.	Peso Total Fraccion (gr)	Particulas que no pasan (gr)	Indice de Alargamiento de la fracción (%)	Gradación %	Promedio de particulas alargadas
3/4"	0	0	0,0	0,0	0,0
1/2"	1549,3	126,3	8,2	11,2	91,3
3/8"	978,6	182,6	18,7	56,5	1054,3
Sumas	2527,9	308,9		67,7	1145,6

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Resultados del Índice de Alargamiento de la fracción en la Cantera del Río Charte ½” [22]

Figura 44. Resultados del índice de Alargamiento de la fracción en la Cantera del Río Charte, ¾”

NORMA DE ENSAYO 230-13 INVIAS					
Tamiz No.	Peso Total Fraccion (gr)	Particulas que no pasan (gr)	Indice de Alargamiento de la fracción (%)	Gradación %	Promedio de particulas alargadas
1"	0	0	0,0	0,0	0,0
3/4"	723,3	32,4	4,5	9,4	42,1
1/2"	2576	335,1	13,0	62,2	809,1
3/8"	924,4	162,1	17,5	17,7	310,4
Sumas	4223,7	529,6		89,3	1161,6

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Resultados del Índice de Alargamiento de la fracción en la Cantera del Río Charte, ¾” [22].

En el caso de este ensayo de laboratorio, se tiene en cuenta que respecto al material en estudio de la Cantera Casa Roja en el Río Únete, con grava angular color café y blanco con tamaño máximo nominal de ½” y ¾” están cumpliendo con la especificación del Artículo 330-13 INVIAS que estipula que para la base granular el índice debe ser ≤ 35 y para concreto ≤ 25 , con unos resultados de 12.9 y 16.9%.

grueso por masa o por conteo que consiste de partículas fracturas cumpliendo requisitos especificados.			
Resultado de laboratorio.	¿Cumple especificaciones técnicas?	Discusión	Discusión
Ilustración 41 & 42	Cumple	Según el Artículo 500 - 13 de Pavimento de concreto hidráulico se considera que debe ser 60% mínimo. En ambos tamaños del material de la cantera cumple al ser mayor del porcentaje normativo, siendo en ambos tamaños ½” y ¾” de 100%. Por otra parte, la cantera del río Charte tiene como resultado de 1 cara el 90.6% y en las 2 caras el 96.2%.	

Los resultados del ensayo de caras fracturadas de la Cantera Casa Roja se encuentran en las figuras 45 y 46:

Figura 45. Resultados del ensayo de caras fracturadas de la cantera Casa Roja, del río Únete, ½”

NORMA DE ENSAYO 227-13 INVIAS								
TAMAÑO DEL TAMIZ		PESO MUESTRA gr	PESO MATERIAL FRACTURADO		PESO MATERIAL NO FRACTURADO		PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS	
PASA	RETIENE		UNA CARA gr	DOS CARAS gr	UNA CARA gr	DOS CARAS gr	UNA CARA	DOS CARAS
1"	3/4"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
3/4"	1/2"	3092,3	3.092,3	3.092,3	0,0	0,0	100,0	100,0
3/4"	3/8"	5928,8	5.928,8	5.928,8	0,0	0,0	100,0	100,0

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). *Resultados del ensayo de caras fracturadas de la Cantera Casa Roja, del río Únete, ½”* [22].

Figura 46. Resultados del ensayo de caras fracturadas de la cantera Casa Roja del río Únete, $\frac{3}{4}$ "

NORMA DE ENSAYO 227-13 INVIAS								
TAMAÑO DEL TAMIZ		PESO MUESTRA	PESO MATERIAL FRACTURADO		PESO MATERIAL NO FRACTURADO		PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS	
PASA	RETIENE		UNA CARA	DOS CARAS	UNA CARA	DOS CARAS	UNA CARA	DOS CARAS
1 1/2"	1"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
1"	3/4"	765,1	765,1	765,1	0,0	0,0	100,0	100,0
3/4"	1/2"	2211,7	2.211,7	2.211,7	0,0	0,0	100,0	100,0
1/2"	3/8"	1156,1	1.156,1	1.156,1	0,0	0,0	100,0	100,0

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Resultados del ensayo de caras fracturadas de la Cantera Casa Roja del río Únete, $\frac{3}{4}$ " [22].

Tabla 20. Análisis de los resultados de ensayo de caras fracturadas de la cantera La Capilla del Río Charte.

Cantera La Capilla, río Charte			
Ensayo de porcentaje de caras fracturadas en los agregados.		Normativa base: NTC 174 Concretos / Artículo 630-13 Concreto Estructural INVIAS	
Prueba de ensayo 1.	Apartado de la Norma Técnica que se aplica.	¿Qué agregado se estudia en este laboratorio?	
Se considera una partícula fracturada si el 25% está fracturada, es decir una cuarta parte. La granulometría va desde 3" hasta 3/8". Se considera una partícula fracturada si visualmente está quebrada, tiene como objeto cubrir la determinación del	<ul style="list-style-type: none"> Inv. -227-13 	Agregado grueso	Agregado fino
		x	

porcentaje de una muestra de agregado grueso por masa o por conteo que consiste de partículas fracturas cumpliendo requisitos especificados.			
Resultado de laboratorio.	¿Cumple especificaciones técnicas?	Discusión	Discusión
Ilustración 43 & 44	Cumple	Según el Artículo 500 - 13 de Pavimento de concreto hidráulico se considera que debe ser 60% mínimo. En el material de la cantera Charte cumple al ser mayor del porcentaje normativo, siendo en tamaño de ¾" de 90.6% en 1 cara y de 2 caras con un 67.8%. Por otra parte, la cantera del río Charte tiene como resultado de ½" con 1 cara el 90.6% y en las 2 caras el 67.8%.	

Los resultados del ensayo de caras fracturas se encuentran en las figuras 47 y 48 respectivamente:

Figura 47. Resultados del ensayo de caras fracturadas de la cantera La Capilla del Río Charte ½”

NORMA DE ENSAYO 227-13 INVIAS								
TAMAÑO DEL TAMIZ		PESO MUESTRA	PESO MATERIAL FRACTURADO		PESO MATERIAL NO FRACTURADO		PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS	
PASA	RETIENE		UNA CARA	DOS CARAS	UNA CARA	DOS CARAS	UNA CARA	DOS CARAS
1"	3/4"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
3/4"	1/2"	1789,3	1.712,5	1.675,2	76,8	114,1	95,7	93,6
3/4"	3/8"	2041,4	1.904,6	1.863,3	136,8	178,1	93,3	91,3

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Resultados del ensayo de caras fracturadas de la cantera La Capilla del Río Charte ½” [22]

Figura 48. Resultados del ensayo de caras fracturadas de la cantera de La Capilla, del Río Charte, ¾”

NORMA DE ENSAYO 227-13 INVIAS								
TAMAÑO DEL TAMIZ		PESO MUESTRA	PESO MATERIAL FRACTURADO		PESO MATERIAL NO FRACTURADO		PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS	
PASA	RETIENE		UNA CARA	DOS CARAS	UNA CARA	DOS CARAS	UNA CARA	DOS CARAS
1 1/2"	1"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
1"	3/4"	1493,5	1.280,2	1.202,9	213,3	290,6	85,7	80,5
3/4"	1/2"	2810,2	2.486,9	236,6	323,3	2.573,6	88,5	8,4
3/4"	3/8"	1067,1	940,9	878,6	126,2	188,5	88,2	82,3

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Resultados del ensayo de caras fracturadas de la Cantera de La Capilla, del Río Charte, ¾” [22]

Como se aprecia en los resultados de laboratorio, en ambas canteras los materiales de grava angular color café y blanco con tamaños nominales de ½” y ¾”, cumplen la prueba de ensayo de fractura, cumpliendo con las especificaciones del artículo 330-13, 450-13, 500-13 de la norma INVIAS.

Figura 49. Especificación de la prueba de ensayo de porcentaje de caras fracturadas.

ESPECIFICACION			
	% Minimo		
	Clase C	Clase B	Clase A
Base Granular Una/Dos Caras	50	70/50	100/70
	NT1	NT2	NT3
Mezcla Asfáltica en caliente, Una Cara. Rodadura/Intermedia/Base	75/60/-	75/75/60	85/75/60
Mezcla Asfáltica en caliente, Dos Caras. Rodadura/Intermedia/Base	-/-/-	60/-/-	70/-/-
Agregado Concreto Hidraulico. Una Cara		60	
ARTICULO 330-13, 450-13, 500-13 INVIAS			

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). *Especificación de la prueba de ensayo de porcentaje de caras fracturadas* [22].

Los porcentajes obtenidos son mayores a los porcentajes tanto de base granular como el de agregado en concreto hidráulico por una cara, se tiene en cuenta la prueba desde 1” a el tamiz 3/8”, con tres muestras con un gramaje diferente realizadas a dos caras tanto fracturadas como no fracturadas tal como se aprecia en la figura 49.

- Resultado ensayo resistencia al desgaste por la máquina de Los Ángeles

Tabla 21. Análisis del resultado ensayo de resistencia al desgaste por la máquina de los Ángeles, cantera Únete.

Cantera Casa Roja, río Únete.		
Ensayo resistencia al desgaste por la máquina de Los Ángeles		Normativa base: NTC 174 Concretos / Artículo 630-13 Concreto Estructural INVIAS
Prueba de ensayo 1.	Apartado de la Norma Técnica que se aplica.	¿Qué agregado se estudia en este laboratorio?

<p>El objetivo de la prueba de desgaste por medio de la Máquina de los Ángeles es determinar la resistencia a la trituración o abrasión de los materiales pétreos utilizados en las mezclas asfálticas. Para determinar la resistencia se hace actuar una carga abrasiva sobre la muestra de material que se desee analizar. (Catarina, udlap).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inv. -218-13 	<p>Agregado grueso</p> <p style="text-align: center;">x</p>	<p>Agregado fino</p>
<p>Resultado de laboratorio.</p>	<p>¿Cumple especificaciones técnicas?</p>	<p>Discusión</p>	<p>Discusión</p>
<p>Ilustración 46</p>	<p>No Cumple</p>	<p>Se toma un porcentaje de acuerdo a la normativa del 40% como valor máximo a 500 revoluciones y de 8% como valor máximo a 100 revoluciones. En este caso el material no cumple ya que los porcentajes de desgaste representados en las tablas de resultados excede el de la norma.</p>	

En la figura 50 se encuentran el rango en el que entra el agregado de la Cantera Únete en la prueba de la máquina de los ángeles.

Figura 50. Prueba de laboratorio de resistencia al desgaste por la máquina de los Ángeles, cantera Únete.

NORMA DE ENSAYO 218-13 INVIAS			
PRUEBA	1	2	3
GRADACION USADA	A	A	
No. DE ESFERAS	12	12	
No. DE REVOLUCIONES	100	500	
MASA DE LA MUESTRA SECA ANTES DEL ENSAYO g	5008	5008	
MASA DE LA MUESTRA SECA DESPUES DEL ENSAYO g	4493	2489	
PERDIDA g	513	2517	
% DE DESGASTE	10,2	50,3	

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Prueba de laboratorio de Resistencia al desgaste por la máquina de los Ángeles, Cantera Únete [22]

Tabla 22. Análisis del resultado de ensayo resistencia al desgaste por la máquina de los Ángeles cantera del Río Charte.

Cantera La Capilla, río Charte			
Ensayo resistencia al desgaste por la máquina de Los Ángeles		Normativa base: NTC 174 Concretos / Artículo 630-13 Concreto Estructural INVIAS	
Prueba de ensayo 1.	Apartado de la Norma Técnica que se aplica.	¿Qué agregado se estudia en este laboratorio?	
El objetivo de la prueba de desgaste por medio de la Máquina de los Ángeles es determinar la resistencia a la trituración o abrasión de los materiales pétreos utilizados en las mezclas asfálticas. Para determinar la resistencia se hace actuar una carga	<ul style="list-style-type: none"> Inv. -218-13 	Agregado grueso	Agregado fino
		x	

abrasiva sobre la muestra de material que se desee analizar. (Catarina, udlap).			
Resultado de laboratorio.	¿Cumple especificaciones técnicas?	Discusión	Discusión
Ilustración 47	No Cumple	Se toma un porcentaje de acuerdo a la normativa del 40% como valor máximo a 500 revoluciones y de 8% como valor máximo a 100 revoluciones. En este caso el material no cumple ya que los porcentajes de desgaste representados en las tablas de resultados excede el de la norma.	

Igualmente, en la figura 51 encuentran los resultados de resistencia al desgaste del agregado de la cantera la Capilla del río Charte.

Figura 51. Prueba de laboratorio de resistencia al desgaste por la máquina de los Ángeles, Cantera Charte

NORMA DE ENSAYO 218-13 INVIAS			
PRUEBA	1	2	3
GRADACION USADA	A	A	
No. DE ESFERAS	12	12	
No. DE REVOLUCIONES	100	500	
MASA DE LA MUESTRA SECA ANTES DEL ENSAYO g	5002	5002	
MASA DE LA MUESTRA SECA DESPUES DEL ENSAYO g	4511	2714	
PERDIDA g	491	2288	
% DE DESGASTE	9,8	45,7	

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Prueba de laboratorio de Resistencia al desgaste por la máquina de los Ángeles, Cantera Charte [22]

En el análisis de la verificación de la normativa tanto de la grava angular color café y blanco con tamaños entre 3/8” y 1”, así como grava angular color café y blanco con tamaños entre 1/4” y 1” no están cumpliendo con las especificaciones del artículo 300, 320, 330, 500 y 630-13 de INVIAS al exceder los porcentajes permitidos con resultados en la Cantera Casa Roja del río únete 10.2 y 50.3 en ambas pruebas, y en la Cantera La Capilla del Río Charte con unos porcentajes de 9.8 y 45.7 respectivamente.

Según el INVIAS, “Su clasificación no debe superar el 40% para considerarse un agregado con buenas propiedades para la elaboración de concretos”, por lo que representaría que desde el parámetro en estudio se estarían considerando materiales con malas propiedades como se aprecia en la figura 52.

Figura 52. Especificaciones prueba de los Ángeles.

ESPECIFICACION					
500 Revoluciones		100 Revoluciones		500 Revoluciones	
BASE - B y C	≤ 40%	BASE - A	≤ 7%	AFIRMADO	≤ 50%
BASE - A	≤ 35%	BASE - B	≤ 8%	SUBBASE	≤ 50%
CONCRETO	≤ 40%	CONCRETO	≤ 8%		
ARTICULO 300, 320, 330, 500 y 630 -13 INVIAS					

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). *Especificaciones prueba de los Ángeles* [22].

- Por otra parte, los resultados de ensayo Densidad Bulk

Tabla 23. Ensayo densidad bulk peso unitario

Cantera Casa Roja, río Únete.			
Ensayo Densidad Bulk “Peso Unitario”			Normativa base: NTC 174 Concretos
Prueba de ensayo 1.	Apartado de la Norma Técnica que se aplica.	¿Qué agregado se estudia en este laboratorio?	
Este ensayo tiene como fin conocer la relación de la dependencia del	<ul style="list-style-type: none"> • NTC 174 • ACI. 211.1.9 • INVE 217-07 	Agregado grueso	Agregado fino

peso volumétrico con el proceso de compactación. ASTM C29.			x
Resultado de laboratorio.	¿Cumple especificaciones técnicas?	Discusión	Discusión
Ilustración 49 y 50	Cumple		<p>Arena grano grueso producto de trituración, color amarillo obtiene unos valores de Gs aparente de 2.603 y 2.589 en promedio 2.596 y como absorción se obtienen unos porcentajes que oscilan entre los 0.75 – 0.79%.</p> <p>Respecto a la grava angular color gris, amarillo y blanco con tamaño máximo nominal ¾” el Gs aparente tiene en la primera prueba un valor de 2.514 y en la segunda un valor de 2.529, promediando un valor de 2.5215 y los porcentajes de absorción oscilan entre 1.63 y 1.56%.</p>

Los resultados de las densidades para los tamaños de la cantera Casa Roja se encuentran en las figuras 53 y 54:

Figura 53. Resultados del laboratorio ensayo densidad bulk (peso unitario) para la cantera Casa Roja, del río Únete para ½”

NORMA DE ENSAYO INVIAS E-222-13					
AGREGADO FINO	ENSAYO		AGREGADO GRUESO	ENSAYO	
	1	2		1	2
A = Peso aire muestra seca	496,3	496,1	A = Peso aire muestra seca		
B = Peso picnometro aforado lleno de agua	773,9	773,5	B = Peso aire muestra SSS		
C = Peso picnometro aforado con la muestra y lleno de agua	1083,2	1081,9	C = Peso en agua muestra saturada		
D = Peso muestra saturada con superficie seca	500,0	500,0			
Gs Aparente	2,603	2,589	Gs Aparente		
Gs aparente SSS	2,622	2,610	Gs aparente SSS		
Gs Nominal	2,654	2,643	Gs Nominal		
Absorcion %	0,75	0,79	Absorcion %		

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Resultados del laboratorio ensayo densidad bulk (Peso unitario) para la cantera Casa Roja, del río Únete para ½” [22]

Figura 54. Resultados de ensayo de laboratorio densidad bulk (peso unitario) de la cantera Casa Roja, del río Únete, material de ¾”

NORMA DE ENSAYO INVIAS E-223-13					
AGREGADO FINO	ENSAYO		AGREGADO GRUESO	ENSAYO	
	1	2		1	2
A = Peso aire muestra seca			A = Peso aire muestra seca	1954,8	1809,9
B = Peso picnometro aforado lleno de agua			B = Peso aire muestra SSS	1986,7	1838,1
C = Peso picnometro aforado con la muestra y lleno de agua			C = Peso en agua muestra saturada	1209,0	1122,5
D = Peso muestra saturada con superficie seca					
Gs Aparente			Gs Aparente	2,514	2,529
Gs aparente SSS			Gs aparente SSS	2,555	2,569
Gs Nominal			Gs Nominal	2,621	2,633
Absorcion %			Absorcion %	1,63	1,56

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Resultados de ensayo de laboratorio densidad bulk (peso unitario) de la cantera Casa Roja, del río Únete, material de ¾” [22]

		absorción que oscilan entre 0.93 y 0.89%.	
--	--	---	--

En la figura 55 y 56 se encuentran los resultados del ensayo de densidad bulk de la Capilla del Río Charte.

Para cada uno de los ensayos se realizaron dos prácticas de laboratorio tanto para el agregado grueso como para el agregado fino.

Estos laboratorios fueron realizados según las especificaciones propuestas por la normativa INVIAS.

Figura 55. Resultados del ensayo de densidad bulk o peso unitario de la cantera La Capilla, río Charte.

AGREGADO FINO	ENSAYO		AGREGADO GRUESO	ENSAYO	
	1	2		1	2
A = Peso aire muestra seca	495,4	495,6	A = Peso aire muestra seca		
B = Peso picnometro aforado lleno de agua	770,9	770,0	B = Peso aire muestra SSS		
C = Peso picnometro aforado con la muestra y lleno de agua	1081,2	1080,9	C = Peso en agua muestra saturada		
D = Peso muestra saturada con superficie seca	500,0	500,0			
Gs Aparente	2,611	2,621	Gs Aparente		
Gs aparente SSS	2,636	2,644	Gs aparente SSS		
Gs Nominal	2,676	2,683	Gs Nominal		
Absorcion %	0,93	0,89	Absorcion %		

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Resultados del ensayo de densidad bulk o peso unitario de la cantera La Capilla, río Charte [22].

Figura 56. Resultados del ensayo de densidad bulk o peso unitario de la cantera La capilla, río Charte $\frac{3}{4}$ ''

NORMA DE ENSAYO INVIAS E-223-13					
AGREGADO FINO	ENSAYO		AGREGADO GRUESO	ENSAYO	
	1	2		1	2
A = Peso aire muestra seca			A = Peso aire muestra seca	3220,2	2750,9
B = Peso picnometro aforado lleno de agua			B = Peso aire muestra SSS	3272,5	2795,0
C = Peso picnometro aforado con la muestra y lleno de agua			C = Peso en agua muestra saturada	2010,0	1716,0
D = Peso muestra saturada con superficie seca					
Gs Aparente			Gs Aparente	2,551	2,549
Gs aparente SSS			Gs aparente SSS	2,592	2,590
Gs Nominal			Gs Nominal	2,661	2,658
Absorcion %			Absorcion %	1,62	1,60

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Resultados del ensayo de densidad bulk o peso unitario de la cantera la Capilla, Río Charte $\frac{3}{4}$ '' [22]

Respecto a los resultados en los distintos tamaños de los materiales de ambas canteras se especifica que las pruebas no deben variar en más de 0.02 en peso específico y no más de 0.31 en absorción, esto en el caso de la cantera Casa Roja del Río Únete y la Cantera La Capilla del Río Charte para ambos tamaños nominales, por lo que en la Casa roja la diferencia en la densidad de 0.015, cumpliendo casi al tope con la especificación.

- Finalmente, el ensayo contenido de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros o concretos.

12. Ponderación de normas incumplidas por Matriz de análisis

Se realiza una ponderación de la normativa que se cumple, como la que no se cumple en ambas canteras con el fin de seleccionar el material con mayor cumplimiento y realizar las pruebas a flexión y el diseño de mezcla correspondiente.

Con una totalidad de diecinueve pruebas de laboratorio realizadas a la Cantera en elección, es decir la Cantera La Capilla del Río Charte, entre las que se encuentra el análisis granulométrico de agregados gruesos y finos tomando la norma de ensayo INVIAS 213-13 y 214-13 tanto para la arena de río como para la arena triturada, la prueba de caras fracturadas para el caso de elección de la prueba de fallo de tamaño $\frac{3}{4}$ ", la prueba de desgaste angular, igualmente el equivalente de arena triturada y de río, la gradación de grava $\frac{3}{4}$ ", materia orgánica 212-13, el ensayo de partículas alargadas y aplanadas, peso específico y la resistencia del 10% de finos, con un análisis del cumplimiento de cada uno se tiene que en promedio.

De las dieciséis pruebas se extraen seis que involucran agregados de $\frac{1}{2}$ " ya que en la prueba de laboratorio para análisis de comportamiento mecánico se trabaja con $\frac{3}{4}$ " y arena triturada, no de río.

Respecto a las 10 pruebas del Río Charte cinco se están cumpliendo:

- Caras fracturas 227,13 INV
- Equivalente de arena 133-113 INV
- Materia orgánica arena grano grueso producto de trituración 212-13
- Índice de partículas aplanadas 230-13 INV
- Índice de partículas alargadas 230-13 INV
- Resistencia mecánica por el método del 10% de finos. 224-13 INV.

Por otra parte, respecto a las 10 pruebas del Río Charte cinco no se están cumpliendo:

- Análisis granulométrico de la arena triturada. 213-13, 213-14 INV.
- Resistencia al desgaste en la máquina de los ángeles 218-13 INV
- Análisis granulométrico de la grava $\frac{3}{4}$ ". 213-13, 213-14 INV.
- Peso específico y absorción de agregados finos y gruesos.

Con la ponderación de resultados se busca ajustar los datos de modo que queden en términos de la población o relacionados con las pruebas totales. Las proporciones objetivo para los resultados era un 19/19 analizando a ambas canteras, y un 10/10 relacionando el análisis sólo con La Cantera La Capilla del Río Charte con las características morfológicas de tamaño $\frac{3}{4}$ y color café.

Tabla 26. *Ponderación de análisis normativo.*

No cumple	36.843%
Cumple	63.157%
Total de la población	100%

Nota: Incluye los resultados de ambas canteras la muestra total.

Tabla 27. *Ponderación de la muestra cantera Charte*

No cumple	40%
Cumple	60%
Total de la muestra Río Charte	100%

Se calcula entonces el factor de ponderación tomando el porcentaje de la muestra total sobre el porcentaje de la muestra.

$$\text{Ecuación 21. } \frac{\text{Porcentaje norma cumplida de la muestra total}}{\text{Porcentaje de la norma cumplida muestra}}$$

$$\frac{63.157\%}{60\%} = 1.05 \text{ Muestra menos pruebas}$$

$$\frac{36.843\%}{40\%} = 0.87$$

Se obtienen factores de ponderación de 1.05 y 0.87 para cada resultado ya sea las normativas cumplidas como las que no se cumplen.

Tabla 28. *Matriz de análisis de la normativa no cumplida*

Normativa	Cantera	Concepto	Implicaciones
INVÍAS-e- 123 y 213-13	La Capilla Río Charte	“El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo” [24]	La gradación es importante, debido a que permite limitar los tamaños de partículas que pueden utilizarse dentro del material y conseguir objetivos. Por ejemplo, respecto a las franjas granulométricas en algunos usos de agregados por ejemplo las bases granulares es importante cumplir la normativa de morfología ya sea el rango de BG ya sea gradación fina o gruesa. Es importante tener en cuenta los máximos porcentajes para garantizar cierto nivel de resistencia. Tomando el ejemplo

Normativa	Cantera	Concepto	Implicaciones
INVÍAS 214-13	La Capilla Río Charte	“Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas.	<p>anterior, en el tamiz No 200 en la gradación fina según la normativa no se permite un porcentaje de finos mayor al 15%, debido a que entre mayor contenido de finos generalmente menor es la resistencia del material y disminuye la permeabilidad. Un material granular con un gran porcentaje de finos podría tener un mal drenaje y se compromete la resistencia, es por ello que se verifica la gradación.</p> <p>Por otra parte, gracias a la granulometría se tiene en cuenta el parámetro de limpieza, hacen referencia a la evaluación del material fino que contamina los agregados, porque afectan los parámetros de resistencia y permeabilidad, es por esto que se necesita entender si las características de plasticidad como de actividad de las partículas finas son perjudiciales para el material granular. En este caso, no se cumple la normativa, por lo que, en este caso, teniendo material fino dentro de los agregados, la permeabilidad es muy baja o incluso nula, de tal manera que el material no vea comprometida la estabilidad volumétrica ni la capacidad hidráulica. Para entrar un poco más en contexto se toma el siguiente ejemplo, en caso de que se esté haciendo un estudio de material para una base granular según la normativa INVÍAS 125 y 126-13 para base clase A y clase B no debe tener LL, para que no sean plásticos, mientras que</p>

Normativa	Cantera	Concepto	Implicaciones
		<p>En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores de material (granulometría)". [25]</p>	<p>en la sub base sí, pero menor o igual al 25%, o el índice de plasticidad debe ser cero para la clase A y B y para la clase C debe ser menor o igual al 6% en la base sub granular.</p> <p>Es importante recalcar que la granulometría es importante en el control de calidad, debe realizarse una vez por jornada durante la obra, es decir en cada una de las jornadas sacar el material de la fuente y realizar las verificaciones incluyendo los límites líquidos y plásticos. Y en obras viales también se verifica una vez por semana ensayo equivalente de arena para verificar la limpieza de los agregados.</p>
INVÍAS 218-13	La Capilla Río Charte	<p>Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm por medio de la Máquina de Los Ángeles. Este ensayo mide la degradación de un agregado pétreo con una composición granulométrica definida, como resultado de una combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y molienda en un tambor de acero</p>	<p>Al final de la prueba de laboratorio se calcula el porcentaje de pérdida de manera que el material se desintegró al impactar las esferas de acero. Entre mayor porcentaje de pérdida el material está siendo menos duro, debido a que fue una mayor proporción la que se desintegró con el proceso. Si en el municipio de Aguazul se están trabajando bases granulares o sub base granular con este material se tendría que rectificar el porcentaje que la norma Invias exige en cuanto al porcentaje de pérdida ya sea clase A, B o C.</p>

Normativa	Cantera	Concepto	Implicaciones
		<p>rotatorio que contiene un número determinado de esferas metálicas, el cual depende de la granulometría de la muestra de ensayo. A medida que gira el tambor, una pestaña de acero recoge la muestra y las esferas de acero y las arrastra hasta que caen por gravedad en el extremo opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración. Entonces, la muestra y las esferas ruedan dentro del tambor, hasta que la pestaña las levanta y se repite el ciclo, tras el número especificado de revoluciones, se retira el contenido del tambor y se tamiza la porción de agregado para medir la degradación, como un porcentaje de pérdida. [26]</p>	

Normativa	Cantera	Concepto	Implicaciones
-	La Capilla Río Charte	Peso específico y absorción de agregados finos y gruesos: “Se aplica para determinar el peso específico seco, el peso específico aparente y la absorción de agregado fino, a fin de usar estos valores tanto en el cálculo y corrección de diseños de mezclas, como en el control de uniformidad de sus características físicas.”	<p>Se define como peso específico la cantidad de material que ocupa un determinado volumen sin incluir los vacíos. El método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino se aplica para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción de agregado fino, a fin de usar estos valores tanto en el cálculo y corrección de diseños de mezclas, como en el control de uniformidad de sus características físicas, es por esto que el peso específico es de vital importancia para determinar el peso de los agregados existentes en la dosificación y la absorción es la prueba para realizar correcciones en las dosificaciones de mezcla de concreto. Es importante resaltar que se ha reportado que “los agregados de alta absorción facilitan el transporte de fluidos en el concreto, lo cual propicia la penetración de cargas ambientales”. [28].</p> <p>Por otra parte, diversos autores han estudiado la difusión de cloruros en concretos fabricados con estos agregados, encontrando una alta variabilidad en esta propiedad, que puede ser atribuida a la estructura de poro de los agregados. Por ejemplo, para una relación A/C de 0.50 se han reportado coeficientes de difusión en un rango de 0.21 a 0.10 (1×10^{-7}</p>

Normativa	Cantera	Concepto	Implicaciones
			<p>cm²/s), lo cual da lugar a concretos de diversas calidades en términos de su durabilidad”. [29]</p> <p>Sin embargo, este tipo de agregados, por lo general, “presentan un alto porcentaje de partículas finas, lo cual hace que su superficie específica total sea mayor; lo anterior genera una mayor demanda de agua de mezclado, y por consecuencia, una mayor cantidad de cemento para mantener la misma relación A/C, y un mayor costo. Se ha comprobado que ese incremento en el agua es factor que aumenta la contracción por secado del material, que es la causa de la mayoría de las grietas no estructurales en el concreto”. [30]</p>

13. Diseño de mezcla según el ACI 211.1

Para realizar el diseño de mezcla con los agregados de la cantera en estudio según el método ACI 211.1, se necesita tener clasificados los siguientes datos mostrados en la tabla 29:

Tabla 29. Datos diseño de mezcla ACI 211.1

Datos		
Peso específico del cemento (Tipo 1)	3.15	gr/cm ³
Slump requerido	4	In
Peso específico del agua	1000	Kg/m ³
Datos de los agregados	<i>Agregado fino</i>	<i>Agregado grueso</i>
Módulo de finura	2.5	7
Peso unitario suelto	1546.6	1500
Peso unitario compactado	1701	1775
Peso específico	2650	2550
Humedad	2.30%	1.90%

Los datos registrados en la tabla 29 son tomados de los ensayos de laboratorio realizados con los agregados de la Cantera La Capilla del Río Charte. Sin embargo, el módulo de finura de uno de los agregados se calcula siguiendo los pasos de la Tecnología del concreto, donde se expone que es un criterio establecido en 1925 por Duff Abrams, a partir de las granulometrías del material, se puede intuir una fineza promedio del material utilizando la siguiente expresión:

$$Ecuación 22 MF = \frac{\sum \%Acumulados\ retenidos\ (1\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{3}{8}, N. 4, N. 8, N. 16, N. 30, N. 50\ y\ N. 100)}{100}$$

Teniendo en cuenta que el tamaño máximo que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado y el tamaño nominal máximo corresponde al menor tamiz en el cual se produce el primer retenido, la norma ASTM lo incorpora en las regulaciones del agregado fino. En la elaboración del concreto, la arena debe tener un módulo de finura entre 2.1 y 3.5, ya que las normas ASTM C 33, AASTHO M6 y la NTP 400.037 establece el siguiente límite granulométrico del agregado fino:

Tabla 30. *Tamaño del agregado fino según la ASTM C 33 [31]*

Tamiz	Porcentaje (%) que pasa (en masa)
9.50 mm 3/8 pulg	100
4.75 mm N.4	95 a 100
2.36 mm N.8	80 a 100
1.18 mm N. 16	50 a 85
600 um N. 30	25 a 60
300 um N. 50	5 a 30
150 um N. 100	0 a 10

Se tiene entonces los resultados de la arena usada en la cantera la capilla mostrada en la figura 57:

Figura 57. *Arena grano medio color café granulometría MF*

DESCRIPCION	ARENA GRANO MEDIO COLOR CAFÉ				
FUENTE	RIO CHARTE	CANTERA	LA CAPILLA	MATERIAL PARA USO EN CONCRETO	
Masa original g	3.937	Masa después de lavada g	3.663,4	% Pasa Tamiz 200 por Lavado 3,1	

NORMA DE ENSAYO INVIAS 213-13 - 214-13					
Tamiz No	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Total	% Pasa Total
3/4"	19,00	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,50	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,50	65,3	1,7	1,7	98,3
4	4,75	148,2	3,8	5,4	94,6
8	2,36	293,9	7,5	12,9	87,1
16	1,18	335,1	8,5	21,4	78,6
30	0,60	805,9	20,5	41,9	58,1
50	0,30	1192,6	30,3	72,2	27,8
100	0,15	822,4	20,9	93,1	6,9
FONDO		273,6	6,9	100,0	0,0

ESPECIFICACION		
Tamiz No	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa
1/2"	12,50	
3/8"	9,50	100
4	4,75	95 100
8	2,36	80 100
16	1,18	50 85
30	0,60	25 60
50	0,30	10 30
100	0,15	2 10

ARTICULO 500 y 630-13 INVIAS

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). *Arena grano medio color café granulometría MF* [22]

$$MF = \frac{0 + 0 + 1.7 + 5.4 + 12.9 + 21.4 + 41.9 + 72.2 + 93.1}{100} = 2.5$$

Por otra parte, se realiza el mismo procedimiento para la grava con los resultados en la figura 58:

Figura 58. Grava angular color café y blanco con tamaño máximo nominal 3/4"

DESCRIPCION	GRAVA ANGULAR COLOR CAFÉ Y BLANCO CON TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 3/4"				
FUENTE	RIO CHARTE	CANTERA	LA CAPILLA	MATERIAL	CONCRETO
Masa original g	15.692	Masa después de lavada g	15.575,3		

NORMA DE ENSAYO INVIAS 213-13 - 214-13					
Tamiz No	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Total	% Pasa Total
1 1/2"	37,50	0,0	0,0	0,0	100,0
1"	25,00	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,00	1477,4	9,4	9,4	90,6
1/2"	12,50	9765,5	62,2	71,6	28,4
3/8"	9,50	2775,5	17,7	89,3	10,7
4	4,75	1507,6	9,6	98,9	1,1
8	2,36	49,3	0,3	99,3	0,7
FONDO		116,7	0,7	100,0	0,0

ESPECIFICACION			
Tamiz No	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa	
1 1/2"	37,50	100	
1"	25,00	95	100
1/2"	12,50	25	60
No.4	4,75	0	10
No.8	2,36	0	5

AG-38 ARTICULO 630-13 INVIAS

Adaptado de Ingeniería y laboratorio (2018). Grava angular color café y blanco con tamaño máximo nominal 3/4" [22]

$$MF = \frac{0 + 9.4 + 89.3 + 98.9 + 99.3 + 100 + 100 + 100 + 100}{100} = 7$$

- Selección de asentamiento: La selección de asentamiento se elige según la consistencia requerida con los valores de la figura 59:

Figura 59. Valores de asentamiento según el tipo de construcción

Tipo de construcción	Máxima	Mínima
Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Adaptado de López, R. (2014). Valores de asentamiento Según el tipo de construcción [32].

13.1 Cálculo F'_{cr} (Resistencia promedio requerida)

La resistencia promedio requerida está en función al f'_c o resistencia a la compresión del concreto a utilizar. En este caso, se estará trabajando con el módulo de rotura, según la tecnología del concreto y del mortero, el módulo de rotura presenta valores que varían entre

un 10% y un 20% de la resistencia a compresión. Una relación aproximada que puede utilizarse cuando no se disponga de ensayos de flexión, la cual es recomendada por el comité Europeo de Concreto en la tabla 11, es la siguiente:

$$\text{Ecuación 23. } MR = k * \sqrt{f'c}$$

El valor de k varía entre 2.0 y 2.7, por lo que se supone un valor de 2.0. Sin embargo, según el autor en Colombia, el autor ha encontrado que el valor de k es aproximadamente 2.39 [33].

13.1.1 Valor de MR

Según la revista de pavimentos MR de CEMEX, se brinda una información técnica de la resistencia a la flexión con la característica común según la edad de especificación de $f'c$ a los 28 días. Por ello se supone un MR 38 Kg/cm² con los valores de la figura 60:

Figura 60. Información técnica CEMEX

PROPIEDAD		UNIDAD	CARACTERÍSTICA
Resistencia a la flexión ASTM C78 (NTC 2871)		kg/cm ²	36 - 38 - 39 - 40 - 41 - 42 - 43 - 45 -50
Edad de especificación de $f'c$		días	28
Asentamiento ASTM C143 (NTC 396)		cm	10 ± 2,5 13 ± 2,5
Tamaño máximo nominal de la grava <small>Consulte con su asesor los tamaños disponibles</small>		pulgadas (mm)	1" (25,4) 3/4" (19,0)
Tiempo de manejabilidad <small>En obra</small>	Clima frío	horas	1,5 ± 0,5
	Clima cálido		
Tiempo de fraguado ASTM C403 (NTC 890)	Clima frío	horas	Inicial: 8 ± 1 Final: 10 ± 1
	Clima cálido		Inicial: 6 ± 1 Final: 8 ± 1
Contenido de aire ASTM C231 (NTC 1032)		%	2,0 ± 0,5

Adaptado de Cemex, *Ficha técnica pavimentos*, 2020 [34]

$$\text{Ecuación 24. } 38 = 2.39 * \sqrt{f'c}$$

$$f'c = 252,7966947 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

Se calcula f'_{cr} cuando no se tiene registro de resistencia de probetas correspondientes a obras anteriores con los valores de resistencia de la figura 61:

Figura 61. Selección de la resistencia a compresión cuando no se tienen datos disponibles para establecer la desviación estándar

Resistencia a compresión especificada, $f'c$, kg/cm ²	Resistencia a compresión media requerida, kg/cm ²
Menos de 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 85$
Más de 350	$1,1f'c + 50$

Norma Técnica de Edificación E.060, Concreto Armado, (2009). *Selección de la Resistencia a compresión cuando no se tienen datos disponibles para establecer la desviación estándar* [35]

Por lo que al estar la resistencia a compresión especificada entre los rangos de 210 a 350 se sumará la cifra especificada en la normativa para obtener la resistencia a compresión media requerida.

$$\text{Ecuación 25. Resistencia requerida} = 252,7966947 + 85 = 336,7966947$$

$$\text{Kg/cm}^2$$

13.1.2 Contenido de aire

Se utiliza la tabla número once del ACI contenido de aire atrapado, se necesita conocer el tamaño máximo nominal del agregado grueso, que es de 19 mm, para este, el contenido del aire será de 2%, como lo muestra la figura 62:

Figura 62. Selección del contenido de aire atrapado

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.0 %
1/2"	2.5 %
3/4"	2.0 %
1"	1.5 %
1 1/2"	1.0 %
2"	0.5 %
3"	0.3 %
6"	0.2 %

Norma Técnica de Edificación E.060, Concreto Armado, (2009). Selección del contenido de aire atrapado [35].

13.1.3 Contenido del agua

Se utilizará la tabla volumen unitario de agua en L/m³, que se ve en la figura 63 para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicada. Para el caso de estudio se toma aire ocluido o natural.

Esta cantidad es para 1 m³ con un asentamiento de 10 cm, se tiene un valor de 184 Lt/m³.

Figura 63. Volumen unitario de agua

TABLA 01								
VOLUMEN UNITARIO DE AGUA								
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	-----

Tabla confeccionada por el comité 211 del ACI.

Norma Técnica de Edificación E.060, Concreto Armado, (2009). Volumen unitario de agua [35]

13.1.4 Relación agua/cemento a/c por resistencia

Se toma la tabla confeccionada por el comité 211 del ACI.

Este valor depende de la resistencia requerida obtenida en el título 18.1.1 de 336.7966947 [Kg/cm²], se realiza una interpolación entre los valores y se obtiene la relación de 0.49848.

$$\begin{array}{r}
 300 \text{ --- } 0.55 \\
 336.7966947 \text{ --- } x \\
 350 \text{ --- } 0.48 \\
 \frac{350 - 336.7966947}{0.48 - x} = \frac{350 - 300}{0.48 - 0.55} \\
 x = 0.49848
 \end{array}$$

Se tiene una relación agua cemento de 0.49848, tomado con los valores de la figura 64 mediante una interpolación.

Figura 64. Relación agua/cemento por resistencia

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	

Tabla confeccionada por el comité 211 del ACI.

Norma Técnica de Edificación E.060, Concreto Armado, (2009). *Relación agua/cemento por resistencia* [35].

13.1.5 Contenido del cemento

Como anteriormente se calculó la relación agua cemento y la cantidad de agua para 1 m^3 que era 184 litros, se tiene que como incógnita está la variable del cemento.

$$\frac{184 \text{ litros}}{c} = 0.49848$$

$$c = 369.1221313 \text{ Kg}$$

13.1.5.1 Factor cemento. Teniendo en cuenta que en un bulto de cemento entran 50 Kg, se tiene que:

$$\frac{\text{Volumen unitario del agua}}{\text{Relación agua/cemento}}$$

$$\frac{369.1221313 \text{ Kg}}{50 \text{ Kg}} = 7.382442626 \text{ Por } \text{m}^3 \text{ se necesitarán 8 bultos de cemento.}$$

13.1.6 Peso de agregado grueso

Se utilizará la tabla ACI 04 peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.

Se tiene el volumen de agregado grueso seco y compactado mostrado en la figura 65 se muestra la cantidad por unidad de volumen de concreto para los diversos módulos de fineza del fino. Es decir, el módulo de finura del agregado fino es el que se utilizará en este ítem.

Figura 65. *Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto*

PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO				
Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de finura del fino. (b / b_0)				
Tamaño máximo nominal del agregado grueso.	2.40	2.60	2.80	3.00
3 / 8 "	0.50	0.48	0.46	0.44
1 / 2 "	0.59	0.57	0.55	0.53
3 / 4 "	0.66	0.64	0.62	0.60
1 "	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1 / 2 "	0.76	0.74	0.72	0.70
2 "	0.78	0.76	0.74	0.72
3 "	0.81	0.79	0.77	0.75
6 "	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla confeccionada por el comité 211 del ACI.

Adaptado de Rivva, E. (2014). *Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto*

[36]

$$\text{Peso a. g} = \frac{b}{b_0} * \text{peso u. s. c}$$

Con la interpolación se obtiene un valor de 0.65.

$$\text{Peso del agregado grueso} = 0.65 * \text{peso unitario compactado a. grueso}$$

$$\text{Peso agregado grueso: } 0.65 * 1775 = 1153.75 \text{ Kg}$$

Teniendo entonces el aire incorporado, el agua, el cemento y el peso del agregado grueso, sólo falta el peso del agregado fino y para hallarlo se calculará el volumen absoluto, es decir que los valores anteriores se convertirán en volumen.

13.1.7 Volumen absoluto

Se inicia pasando el cemento a volumen con la siguiente fórmula:

13.1.7.1 Cemento. Se necesitan los siguientes datos:

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{\text{Contenido de cemento [Kg]}}{\text{Peso específico del cemento [Kg]} * 1000}$$

$$V.c = \frac{369.1221313 \text{ Kg}}{3.15 \text{ gr/cm}^3 * 1000} = 0.117181629 \text{ m}^3$$

13.1.7.2 Agua. Se tienen los siguientes datos:

$$\text{Volumen del agua} = \frac{\text{Cantidad de litros de agua}}{\text{Densidad del agua}}$$

$$V.a = \frac{184 \text{ Litros}}{1000 \text{ Kg/m}^3} = 0.184 \text{ m}^3$$

13.1.7.3 Aire incorporado. Al tener el 2%, sólo se divide en 100.

$$V.o. \text{ air} = \frac{\text{Porcentaje de aire incorporado}}{100}$$

$$\frac{2}{100} = 0.02 \text{ m}^3$$

13.1.7.3 Volumen del agregado grueso. Se tienen los siguientes datos:

$$\text{Volumen a. g} = \frac{0.65 * \text{peso u. s. c}}{\text{Peso específico agregado grueso}}$$

$$\text{Volumen a. g} = \frac{1153.75 \text{ Kg}}{2550 \text{ Kg/m}^3} = 0.45 \text{ m}^3$$

13.1.7.4 Sumatoria de volumen. Todas las cantidades anteriormente calculadas se suman, obteniendo:

$$\sum 0.117181629 \text{ m}^3 + 0.184 \text{ m}^3 + 0.02 \text{ m}^3 + 0.45 \text{ m}^3 = 0.77118 \text{ m}^3$$

Esta sumatoria de volumen es para $1 m^3$ de concreto, por lo que sí no se completa, el volumen que le resta corresponderá al valor del volumen del agregado fino:

13.1.7.5 Volumen del agregado fino. Se restan los siguientes datos:

$$V.af = 1m^3 - 0.77118m^3$$

$$V.af = 0.23m^3$$

13.1.8. Peso del agregado fino

Se calcula al tener el volumen del agregado fino con los siguientes datos:

$$Peso a. fino = V.af[m^3] * Peso específico del agregado fino \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$$

$$Peso a. fino = 0.23 m^3 * 2650 Kg/m^3$$

$$Peso a. fino = 599.8735852 Kg$$

13.1.9 Presentación del diseño en estado seco

Se tienen los siguientes datos:

- Cemento = 369.1221313 Kg
- Agregado fino = 599.8735852 Kg
- Agregado grueso = 1153.75 Kg
- Agua = 184 Lt

13.1.10 Corrección por humedad de los agregados

Se empieza entonces con el agregado fino:

13.1.10.1 Agregado fino. Se tiene la siguiente fórmula:

$$\text{Peso seco agregado fino} * \left(\frac{W\%}{100} + 1 \right)$$

$$599.8735852 \text{ Kg} * \left(\frac{2.3}{100} + 1 \right) = 613.6706776 \text{ Kg}$$

13.1.10.2 Agregado grueso. Se tiene la siguiente fórmula:

$$\text{Peso seco agregado grueso} * \left(\frac{W\%}{100} + 1 \right)$$

$$1153.75 \text{ Kg} * \left(\frac{1.9}{100} + 1 \right) = 1175.67125 \text{ Kg}$$

13.1.11 Aporte de agua a la mezcla

Se tiene la siguiente fórmula:

$$\text{Aporte de agua a la mezcla} = \frac{(\%w - \%abs) * \text{Agregado seco}}{100}$$

13.1.11.1 Aporte de agua al agregado fino. Se reemplazan los datos de la fórmula:

$$\text{Aporte de agua a la mezcla de fino} = \frac{(2.3 - 5.7) * 613.6706776 \text{ Kg}}{100}$$

$$\text{Aporte de agua a la mezcla de fino} = -20.86480304 \text{ Lt}$$

13.1.11.2 Aporte de agua al agregado grueso. Se reemplazan los datos de la fórmula:

$$\text{Aporte de agua a la mezcla de grueso} = \frac{(1.9 - 2.5) * 1175.67125 \text{ Kg}}{100}$$

$$\text{Aporte de agua a la mezcla de fino} = -7.0540275 \text{ Lt}$$

13.1.11.3 Sumatoria del aporte de agua. Se suma el aporte de agua del agregado fino, como del agregado grueso.

$$\sum -20.86480304 \text{ Lt} + -7.0540275 \text{ Lt} = -27.9188305 \text{ Lt}$$

13.1.12 Agua efectiva

Se trabaja con la siguiente fórmula:

$$\text{Agua Efectiva} = \text{Cantidad de agua [Lt]} - \text{Sumatoria de aporte de agua [Lt]}$$

$$\text{Agua Efectiva} = 184 \text{ [Lt]} - (-27.9188305)[\text{Lt}]$$

$$\text{Agua Efectiva} = 211.9188 \text{ Lt}$$

13.1.13 Proporción del diseño

Se tienen los siguientes valores redondeados:

Tabla 31. *Proporcionamiento del diseño*

Cemento	369.1221313 Kg	1
Agregado Fino	613.6706776 Kg	1.6625
Agregado Grueso	1175.67125 Kg	3.185046765
Agua	28.70578768 Lt	0.077767723 Lt

$$\text{Cemento} = \frac{369.1221313 \text{ Kg}}{369.1221313 \text{ Kg}} = 1$$

$$\text{Agregado fino} = \frac{613.6706776 \text{ Kg}}{369.1221313 \text{ Kg}} = 1.6625$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{1175.67125 \text{ Kg}}{369.1221313 \text{ Kg}} = 3.185046765$$

$$\text{Agua} = \frac{\text{Agua Efectiva}}{\text{Factor cemento}}$$

$$Agua = \frac{211.9188 \text{ Lt}}{7.382442626} = 28.7057$$

$$Agua = \frac{28.7057}{369.1221313 \text{ Kg}} = 0.077767723 \text{ Lt}$$

La proporción de diseño queda de esta manera: 1:1.66:3.18:28.7057

14. Cálculo de cantidades

Para calcular las cantidades es indispensable conocer el volumen de los especímenes en los que se verterá la mezcla de hormigón diseñada. En este caso, se realizarán vigas y cilindros para hacer una equivalencia entre los resultados que se obtendrán en la prueba de fallo.

14.1 Cálculo del volumen de la viga

En las figuras 66 y 67 se aprecia la formaleta y tamaño del espécimen.

Figura 66. *Sección transversal espécimen viga de acero*

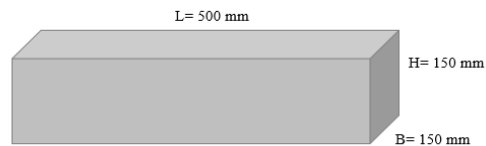


Figura 67. *Formaleta de las vigas de 150mm*



Con la información de la sección transversal se procede a calcular el volumen de las vigas que se fundirán con la mezcla diseñada.

$$\text{Base de la viga} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Altura de la viga} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Profundidad de la viga} = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Volumen de la viga} = 150[\text{mm}] * 150 [\text{mm}] * 500[\text{mm}]$$

$$\text{Volumen de la viga} = 11250000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen de las vigas} = \left(\frac{11250000 \text{ mm}^3 * 3}{1000^3} \right) * 1.05 = 0.0354375 \text{ m}^3$$

Nota: El 1.05 representa el porcentaje de desperdicio que se tendrá en cuenta in situ, por ello se multiplica por el volumen total.

14.2 Cálculo de materiales para las vigas

Del diseño de mezcla se cuenta con los siguientes datos:

Tabla 32. Datos de cantidades tabla ACI para el diseño de mezcla

Resistencia	4800 psi
Cemento	369.122131 Kg
Arena	0.23 m ³
Grava	0.45 m ³
Agua	184 Lt

Los valores de la tabla 32 son tomados del diseño de mezcla calculado con los agregados de la cantera en estudio.

Ahora, se calcularán para el volumen requerido según el espécimen:

14.2.1 Cantidad de cemento

Cemento = Volumen de las vigas * Cantidad de cemento en Kg ACI

$$Cemento = 0.0354375m^3 * 369.122131 Kg$$

$$Cemento = 13.0807655 Kg$$

14.2.2 Cantidad de arena requerida

Cant Arena = Volumen de las vigas * Cantidad de arena en m³ ACI

$$Cant arena = 0.0354375m^3 * 0.23 m^3$$

$$Cant arena = 0.00802189 m^3$$

14.2.3 Cantidad de grava requerida

Cant Grava = Volumen de las vigas * Cantidad de grava en m³ ACI

$$Cant Grava = 0.0354375m^3 * 0.45 m^3$$

$$Cant Grava = 0.01603373 m^3$$

14.2.4 Cantidad de agua requerida

Cant Agua = Volumen de las vigas * Cantidad de agua en litros ACI

$$Cantidad de agua = 184 Litros * 0.0354375m^3$$

$$Cantidad de agua = 6.5205 Litros$$

Con los resultados en laboratorio de las densidades se procede a calcular la cantidad de agregados en Kg.

Tabla 33. *Densidad de los agregados*

Densidad Arena	$1.65 \frac{Kg}{dm^3}$	$1650 \frac{Kg}{m^3}$
Densidad Grava	$1.55 \frac{Kg}{dm^3}$	$1550 \frac{Kg}{m^3}$

Tabla 34. *Peso en kg de los agregados*

Agregado	Volumen Requerido m^3	Densidad $\frac{Kg}{m^3}$	Peso [Kg]
Arena	0.00802189	1650	13.2361258
Grava	0.01603373	1550	24.852284

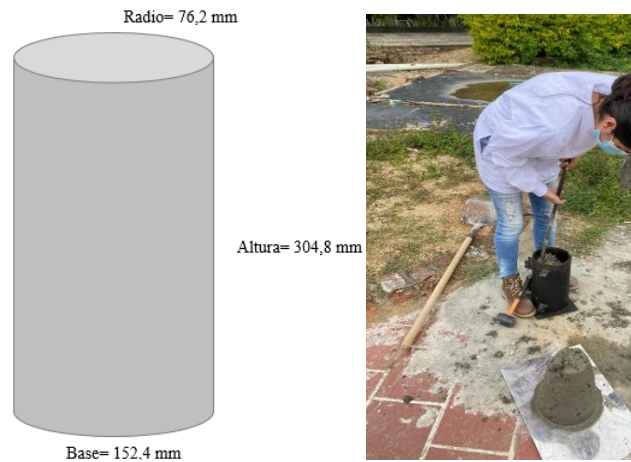
14.3 Dosificación final para las vigas

Tabla 35. *Dosificación final para las vigas*

Material	Requerimiento	Unidad de Medida
Cemento	13.0807655	Kg
Arena	13.2361258	Kg
Grava	24.852284	Kg
Agua	6.5205	Litros

14.4 Cálculo de material para los cilindros

Se tienen en cuenta las dimensiones del cilindro para calcular su volumen y así conocer las cantidades necesarias según se aprecia en la figura 68:

Figura 68. Dimensiones del cilindro

Con la información de la sección transversal se procede a calcular el volumen de los cilindros que se fundirán con la mezcla diseñada.

$$\text{Base del cilindro} = 152.4 \text{ mm}$$

$$\text{Altura del cilindro} = 304.8 \text{ mm}$$

$$\text{Radio del cilindro} = 76.2 \text{ mm}$$

$$\text{Volumen del cilindro} = \pi * \text{radio}^2 * \text{altura}$$

$$\text{Volumen del cilindro} = \pi * (76.2 \text{ mm})^2 * (304.8 \text{ mm})$$

$$\text{Volumen del cilindro} = 5559999.83 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen del cilindro} = \left(\frac{5559999.83 \text{ mm}^3 * 3}{1000^3} \right) * 1.05 = 0.017514 \text{ m}^3$$

Nota: El 1.05 representa el porcentaje de desperdicio que se tendrá en cuenta in situ, por ello se multiplica por el volumen total.

14.5 Cálculo de materiales para los cilindros

Del diseño de mezcla se cuenta con los siguientes datos:

Tabla 36. Datos de cantidades tabla ACI para el diseño de mezcla

Resistencia	4800 psi
Cemento	369.122131 Kg
Arena	0.23 m ³
Grava	0.45 m ³
Agua	184 Lt

Los valores de la tabla 36 tomados del diseño de mezcla calculado con los agregados de la cantera en estudio.

Ahora, se calcularán para el volumen requerido según el espécimen:

14.5.1 Cantidad de cemento para cilindro

$Cemento = \text{Volumen de los cilindros} * \text{Cantidad de cemento en Kg ACI}$

$$Cemento = 0.017514 \text{ m}^3 * 369.122131 \text{ Kg}$$

$$Cemento = 6.46480481 \text{ Kg}$$

14.5.2 Cantidad de arena para cilindro

$Cant Arena = \text{Volumen de los cilindros} * \text{Cantidad de arena en m}^3 \text{ ACI}$

$$Cant arena = 0.017514 \text{ m}^3 * 0.23 \text{ m}^3$$

$$Cant arena = 0.0039646 \text{ m}^3$$

14.5.3 Cantidad de grava para cilindro

$Cant Grava = \text{Volumen de los cilindros} * \text{Cantidad de grava en m}^3 \text{ ACI}$

$$\text{Cant Grava} = 0.017514 \text{ m}^3 * 0.45 \text{ m}^3$$

$$\text{Cant Grava} = 0.00792423 \text{ m}^3$$

14.5.4 Cantidad de agua para los cilindros

$$\text{Cant Agua} = \text{Volumen de los cilindros} * \text{Cantidad de agua en litros ACI}$$

$$\text{Cantidad de agua} = 184 \text{ Litros} * 0.017514 \text{ m}^3$$

$$\text{Cantidad de agua} = 3.2225759 \text{ Litros}$$

Con los resultados en laboratorio de las densidades se procede a calcular la cantidad de agregados en Kg.

Tabla 37. Densidad de los agregados

Densidad Arena	$1.65 \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3}$	$1650 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
Densidad Grava	$1.55 \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3}$	$1550 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

Tabla 38. Peso en kilogramos de los agregados

Agregado	Volumen Requerido m^3	Densidad $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$	Peso [Kg]
Arena	0.0039646	1650	6.54158729
Grava	0.00792423	1550	12.2825506

14.6 Dosificación final para los cilindros

Se procede a calcular la dosificación final para los cilindros, digitando las cifras en la tabla 39:

Tabla 39. *Dosificación final para los cilindros*

Material	Requerimiento	Unidad de Medida
Cemento	6.46480481	Kg
Arena	6.54158729	Kg
Grava	12.2825506	Kg
Agua	3.2225759	Litros

Las bitácoras de los procesos de obtención de material, fundición, fallo de las vigas y cilindros se encuentran en el Apéndice I, J y K.

14.7 Comportamiento mecánico de los cilindros

Los análisis de las fallas presentadas en los cilindros de hormigón analizados en las pruebas de laboratorio estarán regidos por la NTC 673.

Figura 69. *Falla a compresión uniaxial cilindro 1.*

Este cilindro presenta una falla tipo 1, se observa cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado” [40]. Por otra parte, se presenta conos razonablemente bien formados en ambos extremos, fisuras a través de los cabezales de menos de 25 mm (1 pulgada) tal como se ve en la figura 69.

Por otra parte, el cilindro dos, falla como se aprecia en la figura 70.

Figura 70. *Falla a compresión uniaxial cilindro 2.*



Figura 71. *Falla a compresión uniaxial cilindro 3.*



Este cilindro presenta una falla tipo 4 tal como se aprecia en la figura 71 con una fractura diagonal sin fisuras a través de los extremos, se golpea suavemente con un martillo para diferenciarla de la falla tipo 1.

Pudo presentar una cara de aplicación cóncava y/o por deficiencias en el material de cabeceo o también por concavidad en una de las placas de carga.

Finalmente se analiza la falla del cilindro 3, tiene el siguiente tipo de falla según la figura 72:

Figura 72. *Falla a compresión uniaxial cilindro 3*

Este cilindro presenta una falla tipo 5, con fracturas en el lado superior izquierdo, ocurre comúnmente con cabezales no adheridos, pudo presentarse una cara de aplicación cóncava y/o por deficiencias en el material de cabeceo o también por concavidad en una de las placas de carga. Cabe resaltar, que la mezcla no tiene ningún tipo de aditivo Sika fiber, por lo que al fallar se presencia un tipo de comportamiento que, aunque alcanza a avisar el cilindro antes de fallar, si fisura y suena con tendencia a estallar.

Por otra parte, se evidencia cuál es el comportamiento mecánico de las vigas que se fallaron a tracción.

En este caso, Pérez dice que las vigas están constituidas únicamente por el hormigón preparado, así que no se está trabando con hormigón armado, por lo tanto, no se puede determinar el tipo de falla comúnmente estudiadas que serían la balanceada, por tensión o por compresión dependiendo de si la resistencia de cedencia es alcanzada antes de que el concreto llegue a su capacidad máxima, hablando de la falla a tensión, o por defecto, cuando el hormigón alcance su capacidad máxima antes de que el acero ceda, produciendo una falla a compresión, o finalmente, cuando el acero llega a su esfuerzo de fluencia y el concreto alcanza su deformación máxima de 0.003 en compresión.

Así que, en este caso, se presentan las siguientes fallas a tracción:

Figura 73. *Falla a tracción en viga 1 con hormigón simple.*



La viga presenta una fisura de 2 mm inicialmente antes de fallar, y tras registrar la carga máxima se parte justo por la mitad, presentando un comportamiento frágil, ya que el hormigón no trabaja a su máxima capacidad a tracción, el f_r logrado es tan sólo el 10% de f_c . Una vez superada la resistencia a tracción del hormigón, este se fisura. Cabe resaltar, que el hormigón sin reforzar es resistente a la compresión, pero ofrece baja resistencia a la tracción, esto limita su empleo como elemento estructural y por ello, es necesario disponer acero.

La viga 2 presenta un comportamiento simultáneo como se ve en la figura 74:

Figura 74. *Falla a tracción en viga 2 con hormigón simple.*



Se tiene a presentar un poco la deformación con tracción abajo y compresión arriba, por lo tanto, la viga se debería reforzar arriba y abajo, en caso de llegar a utilizar hormigón armado. De igual modo, se puede presenciar que el hormigón es heterogéneo.

Se procede a analizar la tercera viga, que presenta de igual forma el comportamiento de la “cara feliz” justo antes de fisurarse, tal como se aprecia en la figura 75:

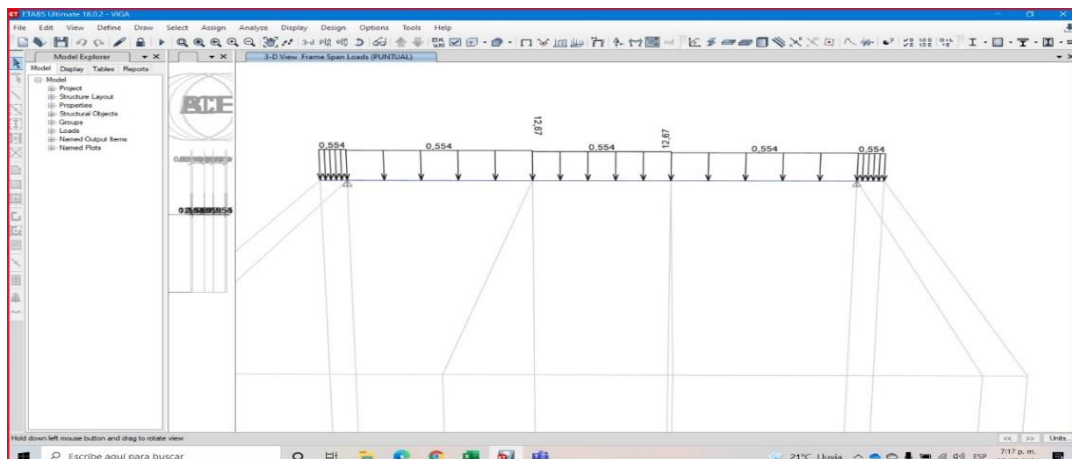
Figura 75. *Falla a tracción en viga 3 con hormigón simple.*



15. Modelamiento numérico de las vigas

15.1 Modelamiento numérico en ETABS viga tipo 1 dimensiones 0.156x0.148 [m]

Figura 76. *Distribución de cargas viga 0.156 x 0.148 [m]*



La figura 76 muestra la distribución de las cargas puntuales y distribuidas incluyendo el peso propio de la viga.

Igualmente, se presentan los diagramas de momento flector y cortante de los tres tipos de vigas y distribución de cargas como se ve en las figuras 77 a la figura 90.

Figura 77. Cargas puntuales viga 0.156 x 0.148 [m].

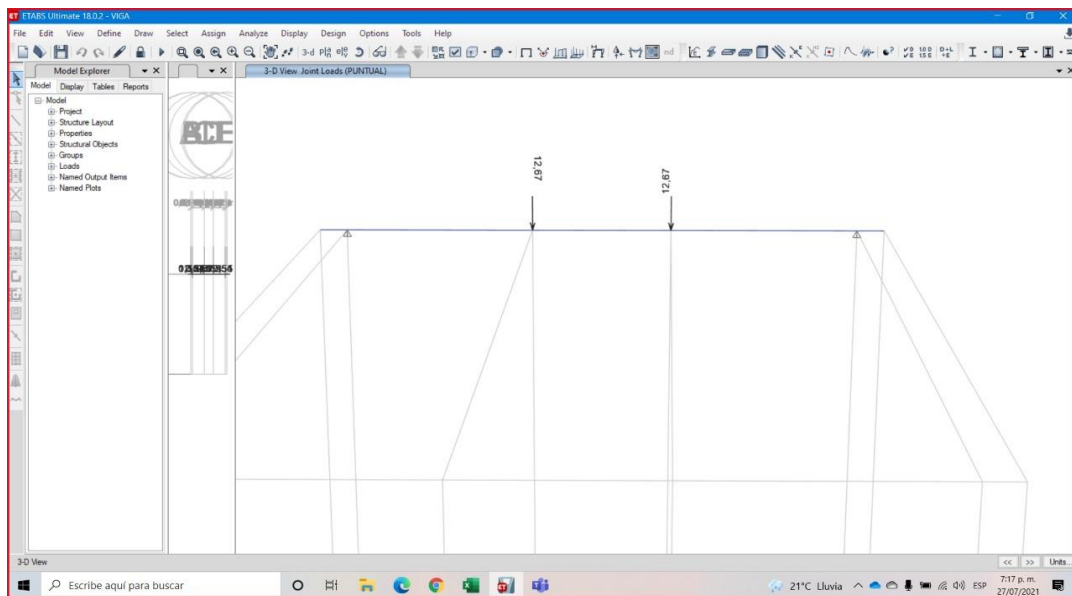


Figura 78. Diagrama de momento viga 0.156 x 0.148 [m].

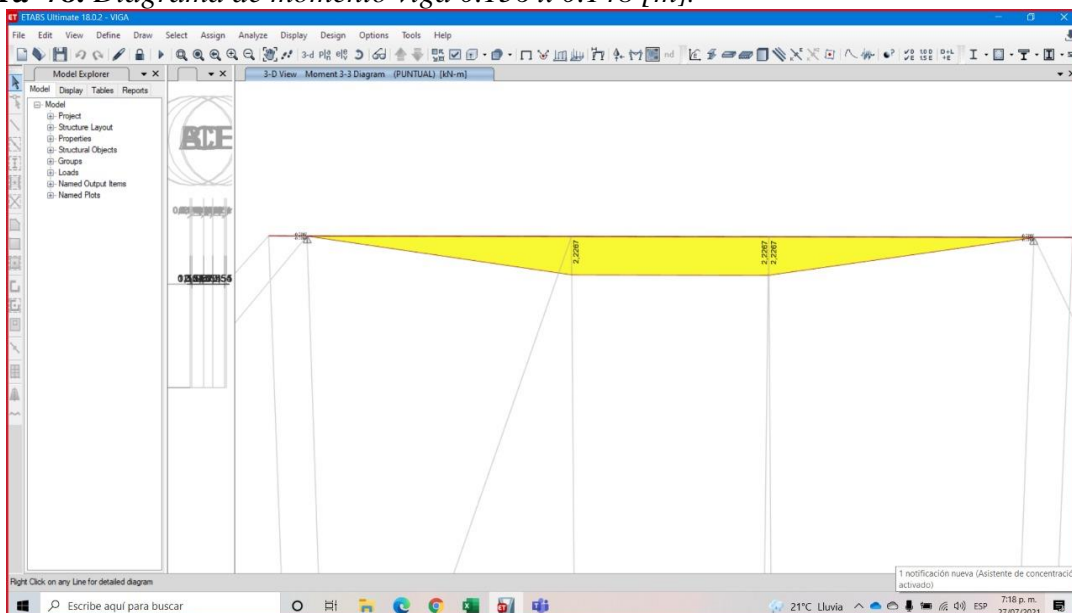


Figura 79. Diagrama de Cortante viga 0.156 x 0.148 [m].

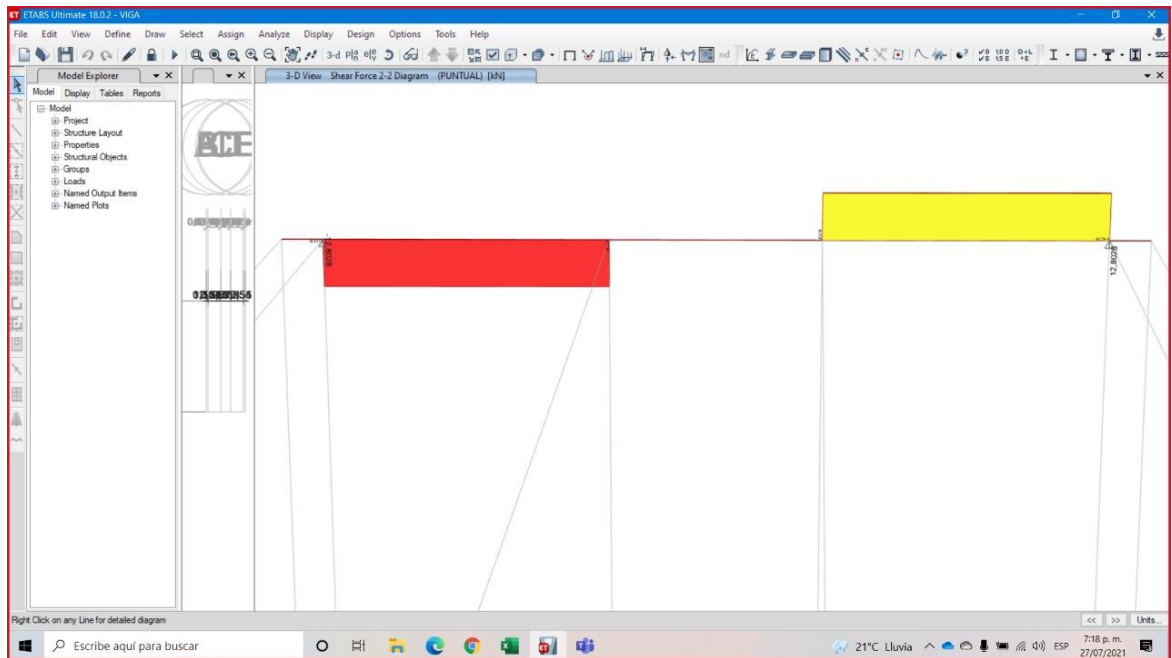
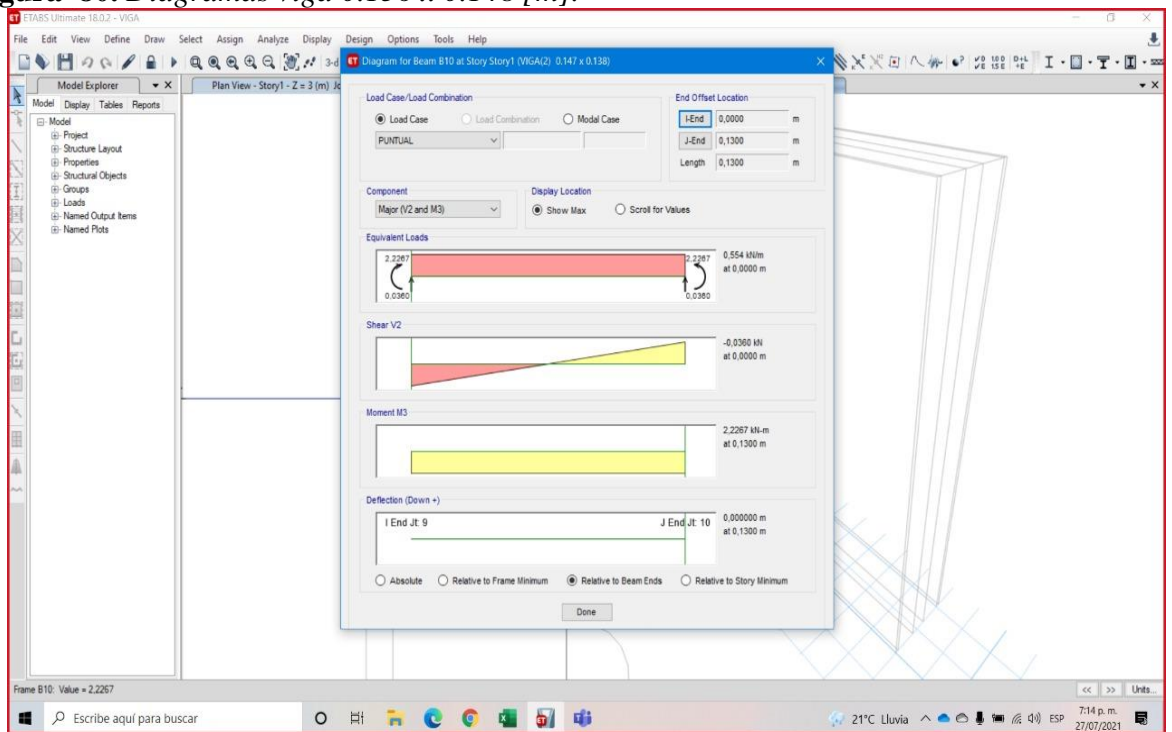


Figura 80. Diagramas viga 0.156 x 0.148 [m].



15.2 Modelamiento numérico en ETABS viga 2 dimensiones 0.147 x 0.138 [m]

Figura 81. Distribución de cargas viga 0.147x 0.138 [m]

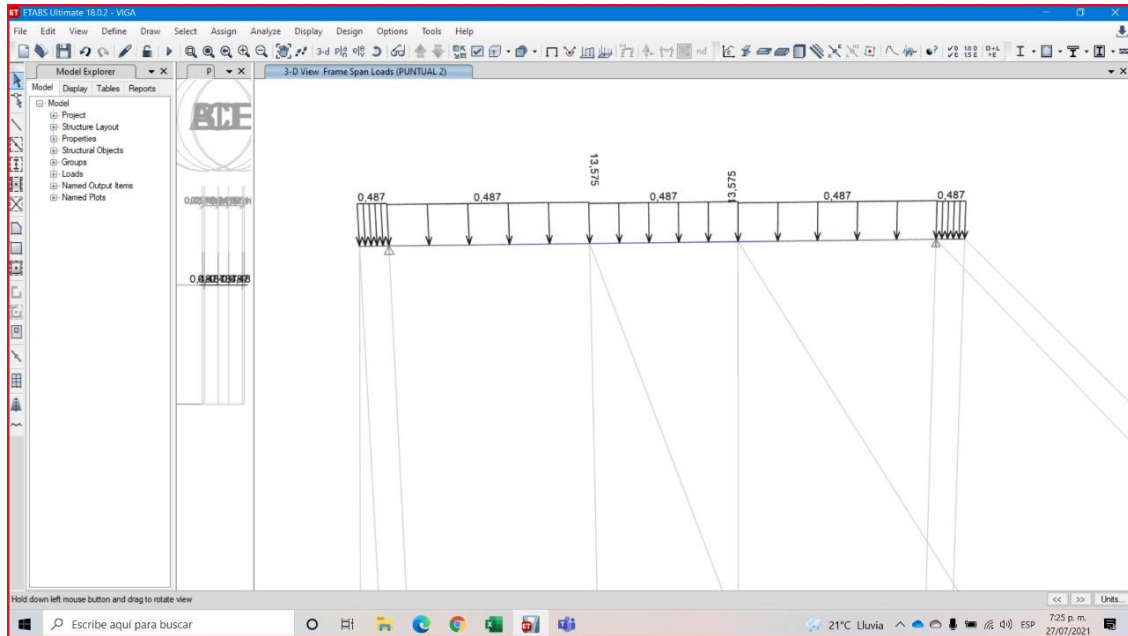


Figura 82. Cargas puntuales viga 0.147x 0.138 [m]

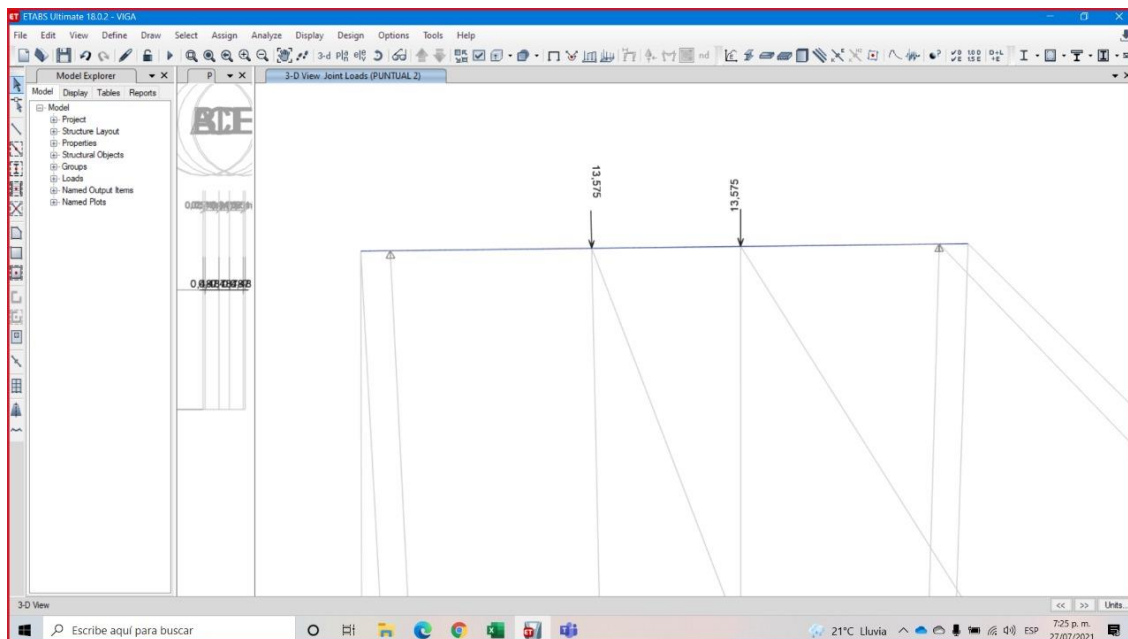


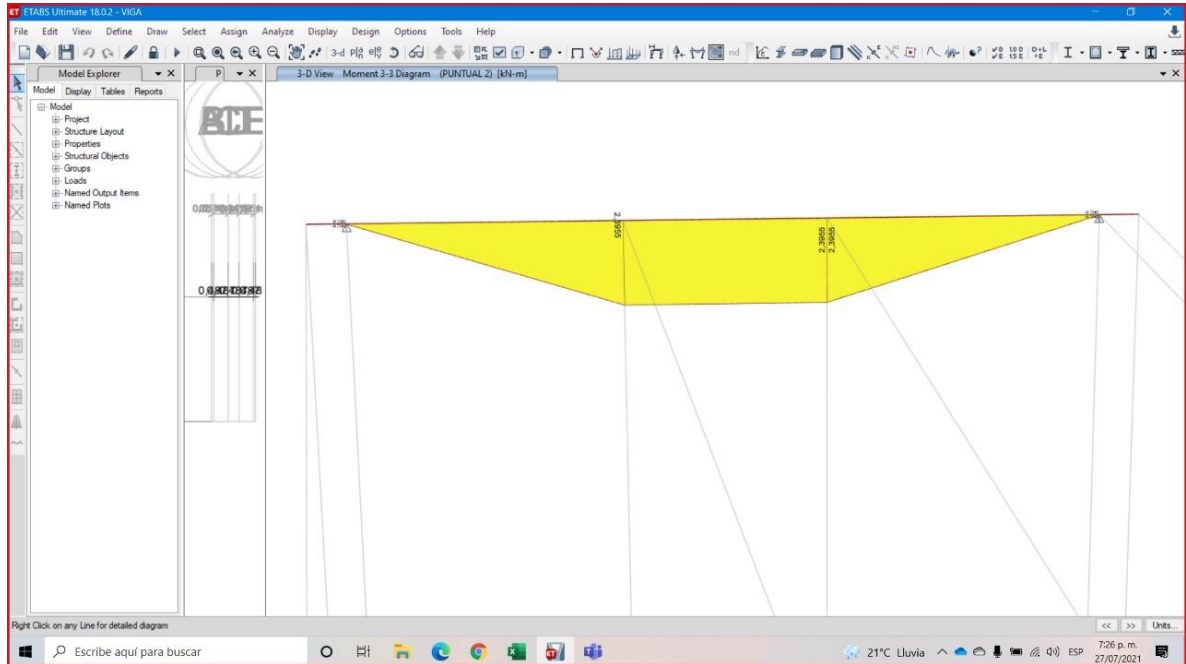
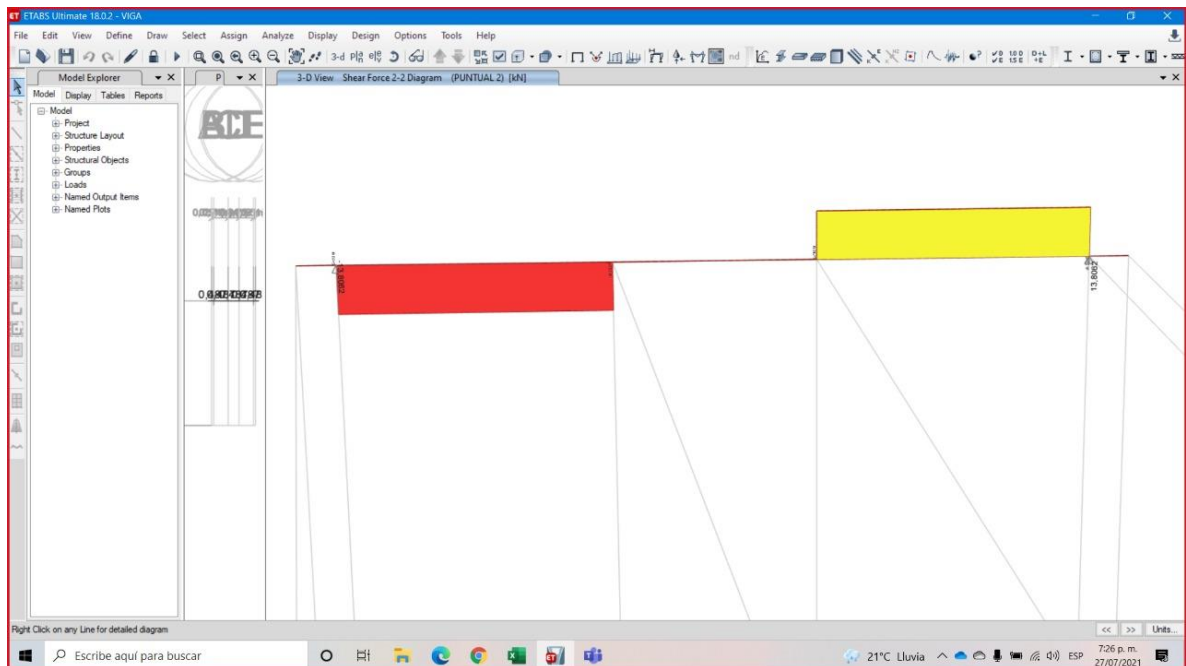
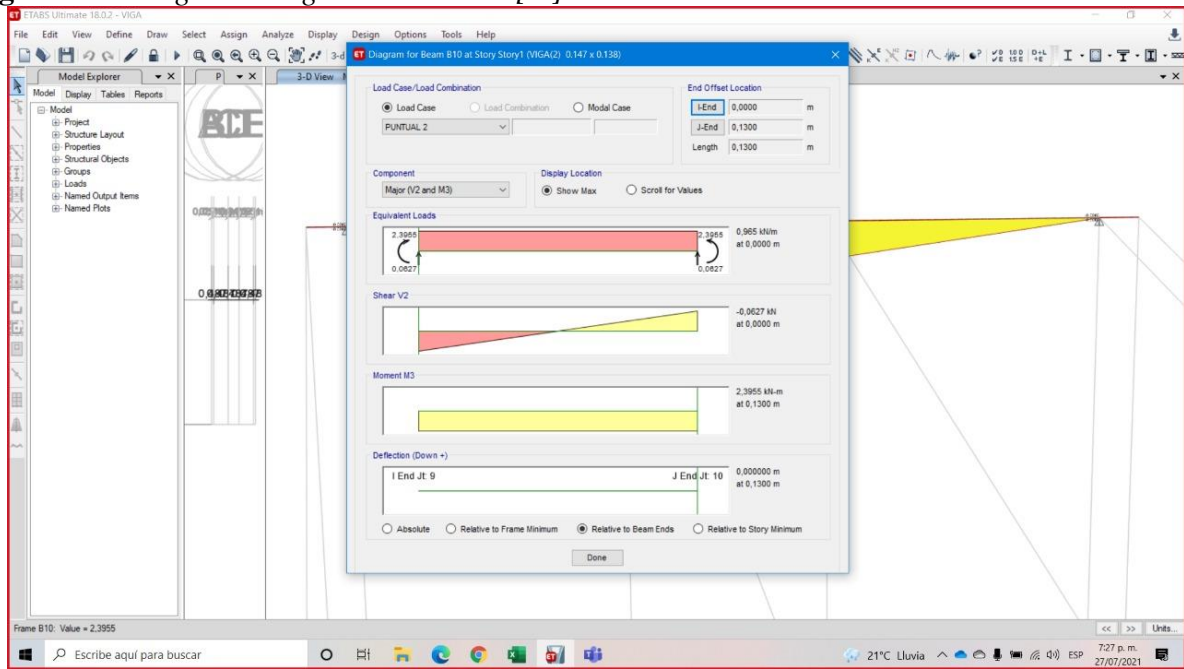
Figura 83. Diagrama de momento viga 0.147x 0.138 [m]**Figura 84.** Diagrama de cortante viga 0.147x 0.138 [m]

Figura 85. Diagramas viga 0.147x 0.138 [m]



15.3 Modelamiento numérico en ETABS viga 3 dimensiones 0.152 x 0.148 [m]

Figura 86. Distribución de cargas viga 0.152 x 0.148 [m]

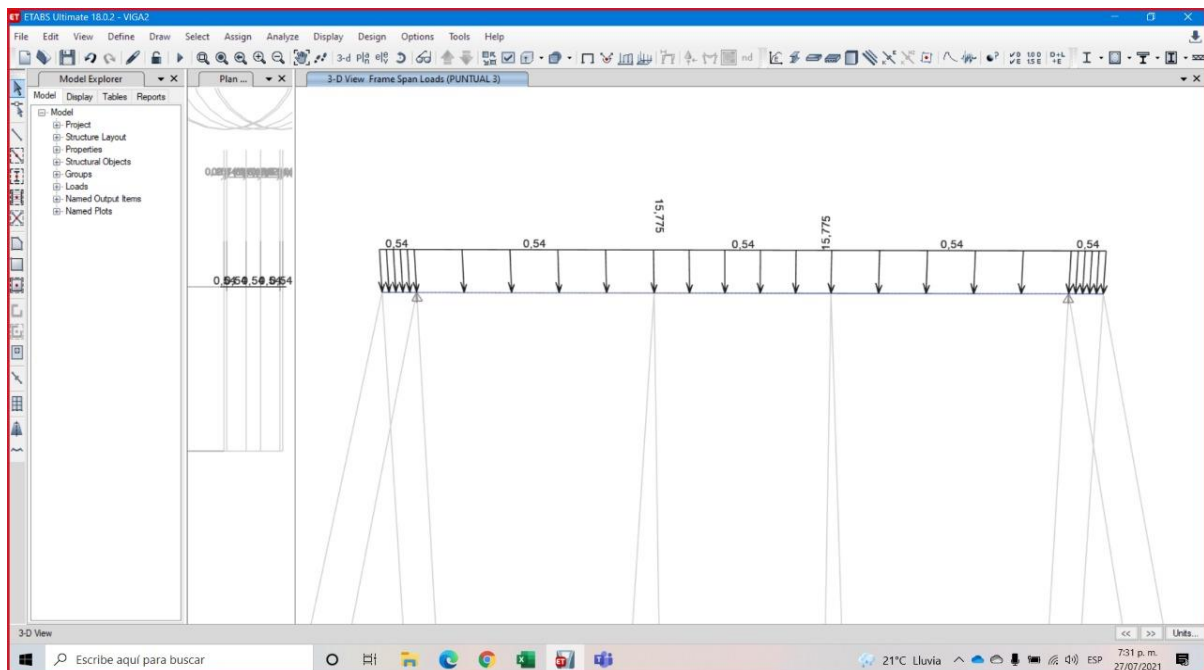


Figura 87. Cargas puntuales viga 0.152 x 0.148 [m]

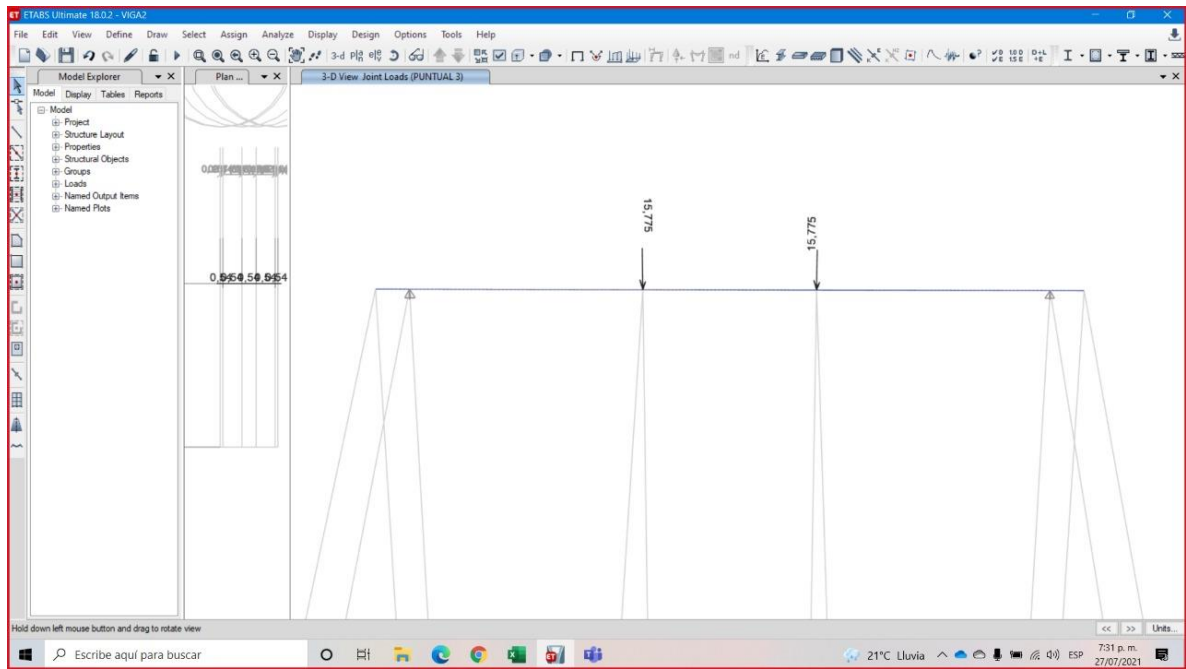


Figura 88. Diagrama de momento viga 0.152 x 0.148 [m]

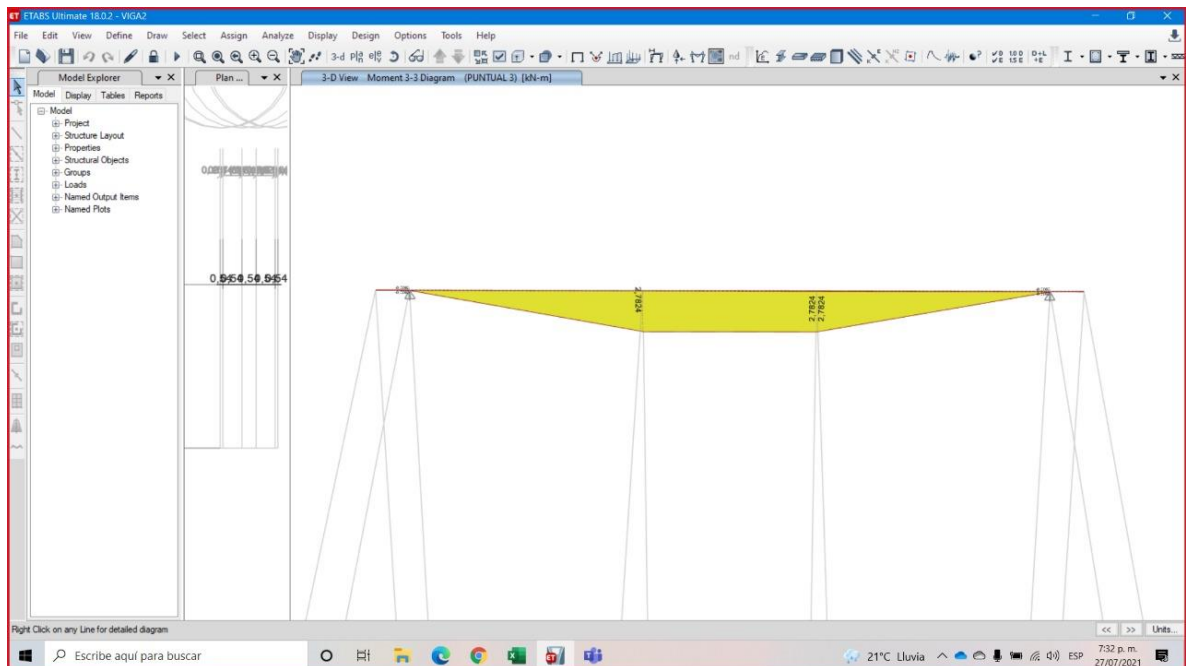


Figura 89. Diagrama de Cortante viga 0.152 x 0.148 [m]

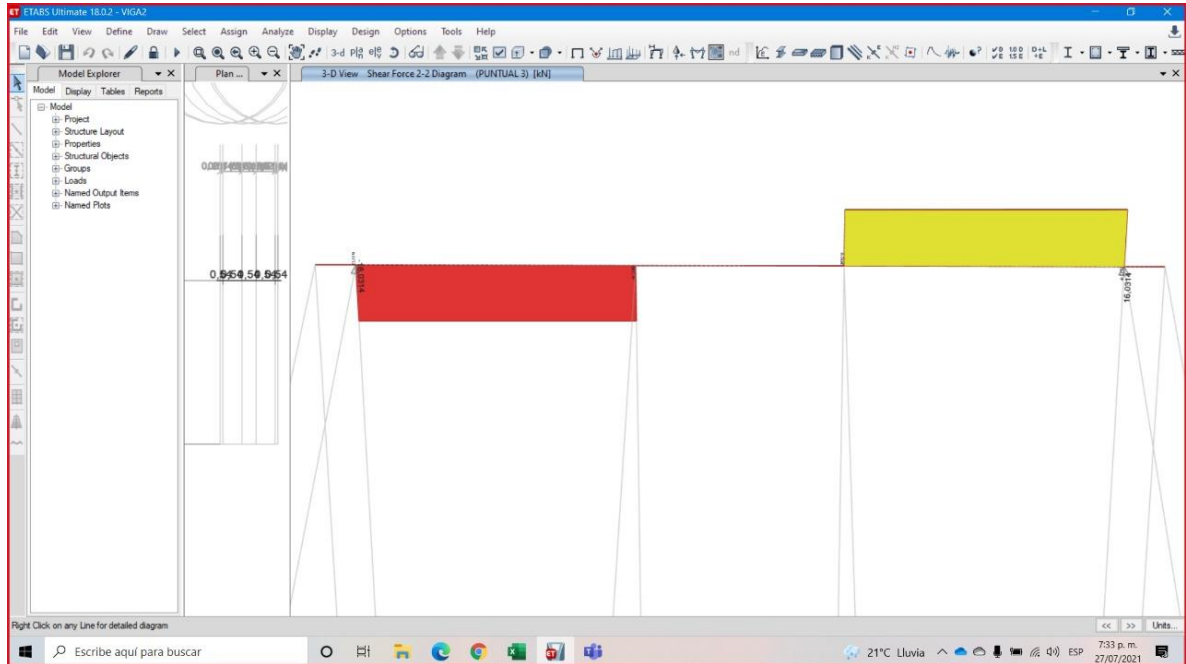
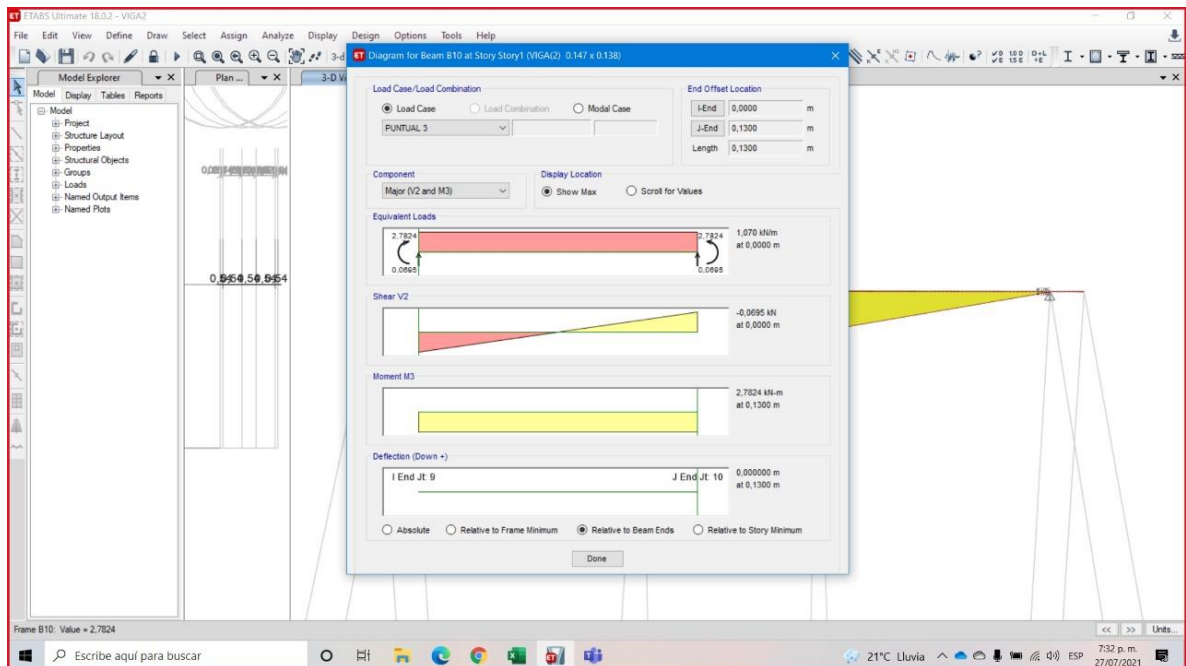


Figura 90. Diagramas viga 0.152 x 0.148 [m]



En el Anexo 1 se encuentran las vigas resueltas en Excel.

16. Discusión de los resultados

Según los estudios de Mattio debido a la mala gradación y a la porosidad, debe existir una cantidad de agua proporcional durante el proceso de conformación, ya que el incremento de la porosidad debido a un aumento de la relación w/c acarreará una disminución de la durabilidad y de la resistencia del hormigón.

Según este autor, “la relación a/c no sólo afecta la resistencia a la compresión del hormigón, sino también su permeabilidad” [49], de igual forma, el autor resalta que con menores relaciones a/c la creciente de granos de cemento en la pasta deja menos espacio entre ellos para ser ocupados por el agua, al estar más unidos unos con otros [49].

Durante el diseño de la mezcla no se puede implementar una dosificación 1:2:2 de 4000 psi, ya que al tratarse de una prueba mecánica a flexión se estudia el módulo de rotura, aspecto que hace necesario la equivalencia entre el MR y la resistencia a la compresión.

Según la Sánchez el módulo de rotura presenta valores que varían entre un 10% y un 20% de la resistencia a la compresión. Una relación aproximada que puede utilizarse cuando no se disponga de ensayos de flexión, según lo estudiado en el libro Tecnología del Concreto y del Mortero la cual es recomendada por el comité europeo del concreto es:

$$MR = k * \sqrt{f'_c}$$

A mayor valor del coeficiente “k”, menor resistencia requerida se presentará, y los valores oscilarán de 2.0 a 2.7. En el caso de estudio, no se estudiarán súper resistencias ya que hasta una resistencia de 21 Mpa, que es una de las más usadas en el sector de la construcción también tendrá MR, lo que tiene que analizarse es si cumple o no el valor mínimo con la fórmula de la ecuación C9-10 de la NSR-10.

$$Fr = 0.62 * \lambda * \sqrt{f'_c}$$

Según Sánchez para lograr una súper resistencia se harían pruebas con relación w/c baja y una relación w/c alta para alcanzar la resistencia esperada mediante una predicción la relación óptima, lo más probable es una relación baja de 0.35 a 0.4 aproximadamente.

En caso de que la mezcla de la cantera sea óptima con las pruebas de laboratorio, podría contribuir positivamente a la disminución de CO₂ y consumo de materiales en el sector de la construcción, ya que la resistencia aportada por los agregados disminuiría la necesidad de usar más cemento para lograr una buena dosificación con las resistencias esperadas, tal como el autor Moujir y Castañeda lo expresa en su investigación pág 89.

El ensayo de granulometría respecto a la del agregado fino para concreto estructural no se cumple, así como el del agregado de tamaño nominal 1/2" y 3/4" en la capilla del río Charte y en la del río Únete.

Por otra parte, en ensayo equivalente de arena se cumple en una de las canteras, mientras que los requisitos de resistencia mecánica de las dos canteras cumplen la INV E 224-13, aspecto importante ya que, aunque cumple, en la cantera del Río Charte se presenta un exceso de arcilla.

Respecto al ensayo de índice de alargamiento y aplanamiento indican la geometría de las partículas, por medio de este ensayo se determinó el porcentaje de partículas largas y planas presentes en la muestra, ya que son partículas de un fácil rompimiento e inducen a una deformación mayor en los materiales granulares, por esto se busca limitar el porcentaje de estas partículas dentro del material en estudio.

Respecto al ensayo de caras fracturadas, en el agregado analizado se presencia superficie áspera y angular dentro de la partícula ya que tiene varias caras fracturadas generando una gran rugosidad y es bastante angulosa, generando así una mayor fricción, siendo así una partícula ideal la trabajada en el proyecto de investigación.

A distintos diámetros de partículas de cemento y finos según estudios de D. Ferraz, en fluencia será distinto el comportamiento. Por otra parte, cabe resaltar que la morfología influencia en el aumento de las fuerzas de atracción en el hormigón al ser angulares, igualmente en la capacidad de compactación del concreto, al ser angular aumentaría y más redondas disminuiría.

Los agregados ocupan la mayor parte del volumen de la mezcla de concreto diseñada con la normativa ACI para una resistencia de 4800 psi.

Respecto a la forma y/o rugosidad, las esquinas afiladas o la rugosidad de la superficie aumentan la fricción entre las partículas, disminuyendo la fluidez. Por otra parte, respecto a la gradación, cuando las partículas pequeñas no están disponibles para llenar huecos entre partículas más grandes, disminuyendo la resistencia, en este caso, la cantera La Capilla del Río Charte, tiene una mala gradación, podría estar afectando la resistencia.

Finalmente, en las posibles contaminaciones, la arcilla puede consumir más agua o aditivos adicionando variabilidad y costo, sin embargo, en el caso de estudio según la granulometría no hay presencia de arcillas.

Respecto al uso de arenas angulares, las arenas rugosas presentan alto factor de fricción, y ambientalmente habrá más disponibilidad de arena triturada que la arena natural que es más redonda.

Es importante tener en cuenta que, para los distintos usos del hormigón, con la dosificación planteada también se lograrían mejores acabados puesto que si se reduce la viscosidad calculando la cantidad necesaria de pasta se mejora la movilidad y se mejora el acabado del hormigón. De igual manera, con los resultados obtenidos en las pruebas de granulometría, como consecuencia de una mala gradación las partículas sólidas no están acercándose más entre ellas, impidiendo que se reduzcan los vacíos a un mínimo [48].

17. Conclusiones

Se evidenció que los requisitos estipulados por la norma INVIAS 123-213, Tabla 630-2, respecto al agregado fino de la Cantera Casa Roja del Río Únete, no se cumplen teniendo un impacto en la gradación de los agregados pétreos, tendiendo a ser poco uniforme, es decir, gráficamente la curva granulométrica presenta características exponenciales, pero sin extensión.

Se probó mediante la Normativa INVE 214 “Determinación de material fino que pasa el tamiz 75 μm ” y la NTC 174, que en la cantera del Río Únete se presentó un módulo de finura, que oscila entre los valores permitidos por la norma 630-13 en su apartado 630.2.2.1.

Se verificó mediante la prueba INVIAS 126-213, que el porcentaje que pasa por el tamiz No. 200 de la Cantera del Río Únete es de 9.1, mientras que el de la Cantera La Capilla del Río Charte fue de 7.4, superando el porcentaje de 5% expuesto en la norma.

Se constató mediante la Normativa base NTC 174, concretos Artículos 630-13 de franjas granulométricas de agregado grueso para concreto estructural, que no se están cumpliendo las especificaciones técnicas en la Cantera la Capilla del Río Charte implicando resultados menores a los estipulados en la Norma INVIAS Artículo 630 AG38 en los tamices No. 4 y No. 8.

Se logra evidenciar que los requisitos estipulados en la normativa INVE 133 sobre ensayo equivalente de arena no se cumplen en la Cantera del Río Charte, implicando una proporción de contenido de polvo nocivo o material arcilloso en el agregado fino, ya que es menor al 60%.

Ciertamente, se verificó que se cumple el ensayo de resistencia mecánica a compresión del agregado grueso por el método del 10% de agregados finos en la cantera La

Capilla del Río Charte, de la normativa INV E 224-13, implicando un cumplimiento del Artículo 330 y 450-13 en valor seco y húmedo mayores a 90 y 75 respectivamente.

Así mismo, las especificaciones técnicas del INVIAS 227-13 respecto al ensayo de porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso de La Cantera La Capilla del Río Charte cumplen, implicando unos porcentajes mayores en la base granular como el de agregado en concreto hidráulico por una cara, mientras que el Río Únete no lo cumple.

Por otra parte, respecto a la verificación del cumplimiento normativo de INVIAS 218-13, no se cumplen las especificaciones del agregado grueso de la Cantera La Capilla del Río Charte, generando que la grava angular color café y blanco con tamaños entre ¼” y 1” no están cumpliendo con el Artículo 300, 320, 330, 500, superando el 40% permitido para considerarse un agregado con buenas propiedades para elaboración de concretos.

Se logró evidenciar que en el cálculo del factor de ponderación se obtienen 1.05 y 0.87 para normas cumplidas y las no cumplidas respectivamente.

Se evidenció con el ensayo INVIAS 213-13 y la especificación AG-38 Artículo 630-13 INVIAS, que los agregados de ¾” grava angular, presenta diferentes características físico mecánicas que la grava ½”, debido a que las partículas con forma irregular y de textura rugosa presenta mejor adherencia para con la pasta de cemento que una partícula redondeada y lisa, así como se evidencia en las pruebas de laboratorio. De igual manera, a mayor tamaño de la partícula, menor será la superficie de contacto.

Se evidenció que la hipótesis se está cumpliendo ya que el hormigón muestra una resistencia esperada. Sin embargo, el tipo de falla no es dúctil, ya que no se adicionó ningún aditivo tipo Sika Fiber o se reforzó con acero para fomentar un comportamiento dúctil en el ensayo a tracción.

Se constató que los agregados de la Cantera La Capilla del Río Charte cumple con más requisitos que la cantera del Río Unete, entre los que se incluyen la especificación INVIAE E 213-13 y 123; INV 214-13; INVIAE 218-13; y peso específico.

Se constató, que la respuesta del material al ser sometido a un esfuerzo mecánico está relacionada con su endurecimiento, por lo que tener en cuenta la calidad de los agregados es importante en el cálculo de la relación agua/cemento, puesto que una buena relación garantiza más resistencia y más durabilidad del hormigón ya que la compacidad de la pasta de cemento será mayor.

Se puede evidenciar que los requisitos estipulados por las normativas 230-13 INVIAE, en cuanto a la angularidad de los áridos tienen un impacto relevante en la fluidez y su disposición en formaletas tal como se evidencia en el material gráfico adjuntado.

La implementación del diseño de mezclas de concreto por el método ACI incidió positivamente en el análisis del parámetro de módulo de finura, ya que es útil para evaluar el consumo de pasta de cemento que se puede emplear en los morteros o concretos, en este caso por presentarse arenas gruesas con mayor superficie específica consumirá menos pasta y menos cemento, ya que el módulo de finura que se presenta es cercano a 3.0.

Se determinó que se cumplió la determinación del 10% de finos de la Norma INVIAE E-224-13, lo que indicó que el material no se degrada con facilidad con la carga monotónica de compresión en el material, cumpliendo con las especificaciones del Artículo 330 y 450-13 INVIAE.

Se constató que los índices de alargamiento son menores al 35% teniendo en cuenta que el índice de alargamiento es el porcentaje de las partículas largas existentes en el material sobre el peso de todas las partículas del material evaluado.

Se probó durante el ensayo de laboratorio que al tener poca pasta se incrementó la fricción interna del hormigón y el atricto de los agregados dificultando su movilidad. En el caso del análisis al implementar una dosificación ideal se contó con la cantidad necesaria para que se presentara fricción y movilidad equilibrada en la mezcla de hormigón, evitando que se incremente la viscosidad, ya que, aunque la pasta lubrica los agregados, el exceso de esta incrementaría la viscosidad de todo el sistema.

Se evidenció que no se disminuyó la consistencia de la mezcla de hormigón, y al tener la dosificación ideal de pasta no se incrementó el área superficial volumétrica en la mezcla evitando el incremento de grietas, puesto que no habría exceso de pasta en la mezcla después de endurecida.

El tamaño, la forma y la textura de las partículas influyen en la cantidad de agua en el hormigón. En este caso se trabajó con partículas angulares, que aumentaron la fricción interna del hormigón y dificulta la fluidez dentro del mismo. Entre más angular la partícula, más pasta necesita para lubricarse y separarse, comportamiento que se pudo presenciar en el análisis de la dosificación calculada.

Se calculó la dosificación ideal para las vigas en hormigón por el Método ACI con un requerimiento de cemento de 13.08 Kg, 13.23 Kg de arena, 24.85 Kg de grava, y 6.52 Litros de agua, en el que se evidencia la importancia del cálculo de datos como peso seco, peso compactado, % de absorción, en el diseño de mezcla, encontrando una dosificación propuesta para la resistencia de MR de 38.

Igualmente, se calculó la dosificación de los cilindros por el Método ACI con un requerimiento de cemento de 6.46 Kg, 6.54 Kg de Arena, 12.28 Kg de grava y 3.22 Litros de agua para realizar la equivalencia de resistencias, ya que en las obras civiles usualmente se

hacen las pruebas de compresión, pues el hormigón no es un material elástico que trabaje bien a flexión.

Se calculó las resistencias a la compresión de los cilindros, obteniendo como mayor resistencia los 5655 psi, seguido de una resistencia de 5270 psi y 5214 psi respectivamente. Asimismo, las vigas resistieron 31.55 KN, seguido de una carga máxima de 25.34 KN y finalmente, 27.15 KN.

18. Recomendaciones

Para fabricar hormigón se necesita conocer el tipo de cemento que se utilizará, propiedad de los agregados e incluso la calidad de agua a utilizar, aditivos, etc.

Para extrapolar los resultados obtenidos durante la realización del trabajo para una muestra mayor se necesitarían ciertas pruebas físicas y mecánicas, que requieren grandes cantidades para poder crear una gráfica de resistencia y frecuencia y de esta forma, obtener una cantidad representativa de ensayos con registros que simulen una curva tipo distribución normal o distribución de Gauss para encontrar si las resistencias promedio se cumplan o incluso sean mayores.

Sin embargo, el estudio de los agregados, requiere altos costos de transporte desde Aguazul Casanare hasta Ocaña Norte de Santander. Asimismo, los costos incrementarían en gastos de pruebas de laboratorio ya que actualmente el trabajo de grado se desarrolla por efectos de la pandemia lejos de la Universidad.

Por lo anteriormente mencionado, se recomienda para una posible continuación de la temática trabajar en más pruebas de laboratorio y así, reforzar estadísticamente valores representativos para una muestra mayor, ya que se supone que la prueba de fallo de los cilindros con sus altas resistencias logradas será representativa en el diseño de mezcla de

hormigón por el método ACI implementando los agregados pétreos de la Cantera La Capilla del Río Charte.

Referencias

- [1] J.L Chan, R.S Carcaño y E.I Moreno, “Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto”, Chan J., et. al. / Ingeniería 7-2 (2003) 39-46
- [2] L.C. Altafaja. “Comprobación de las teorías de dosificación de Fuller y Bolomey,” Tesis Ph.D. Dpto. Ing. Civil., Univ. Politécnica de Cataluña de Barcelona. Barcelona, España, 2017.
- [3] G.P Fernández y S. P Palencia, G, “Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales pétreos extraídos de la Isla de Tierra Bomba para comprobar su uso en la construcción de las murallas de Cartagena de Indias y compararlo con el utilizado actualmente en su restauración proveniente de la cantera “Coloncito” en Turbaco,” Trabajo de investigación. Dpto. de Ingenierías. Univ. De Cartagena, Colombia, 2014.
- [4] C. M Fustamante, “Efecto de la ubicación del puente de adherencia en la resistencia a flexión de vigas simplemente armadas vaciadas en dos etapas” Tesis Ph. D. Dpto. Ing. Civil., Univ. Nacional de Cajamarca, Perú, 2018.
- [5] J. González, “Las mezclas de concreto y sus resultados en la ciudad de Tarapoto utilizando el método del agregado global y módulo de finura,” Tesis Ph. D. Dpto. Ing. Civil., Univ. Nacional de San Martín, Perú, 2003.
- [6] R.S Gómez, S. Baquerizo; C. Julio y L. Vera, “Estudio y análisis comparativo de la calidad de agregados de cuatro canteras de la provincia de Santa Helena y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la elaboración de adoquines para tráfico liviano $f'c$ 300 Kg/cm,” Repositorio UEPSH, 2019.
- [7] F. Goded, “Dosificación de hormigones nuevas orientaciones”. (Revista de obras Públicas). Instituto Técnico de la Construcción, 2000. Disponible en

http://ropdigital.ciccp.es/revista_op/detalle_articulo.php?registro=17644&anio=2000&numero_revista=3397

- [8] B. Herrera y P. Vargas, “Optimización de mezclas de concreto mediante la aplicación del método Walker y la introducción de un aditivo experimental,” Trabajo de investigación. Dpto. de Ingenierías. Univ. Santo Tomás, Bogotá D.C, Colombia, 2018.
- [9] L. López y D. Sepúlveda, “Caracterización física de diferentes muestras de agregados pétreos para el concreto – Zona Norte de Bogotá,” Trabajo de investigación. Dpto. de Ingenierías. Univ. Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2014.
- [10] P. Pacanchique, D. Guiza y B. Ojeda, “Estudio petrográfico comparativo de material pétreo (Grava) proveniente de los centros de distribución de Subachoque y Cemex ubicados en el municipio de Subachoque y localidad de Usme respectivamente más reactivo al Alkali agregado” Trabajo de investigación. Dpto. de Ingenierías. Univ. Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C, Colombia, 2013.
- [11] O. Ramírez, “Análisis comparativo del proyecto de norma DEO 44 – 16 con la especificación IDU 560 – 11 con el artículo INVIAS 467-13 y la norma INV – E – 824-13 de mezclas asfálticas con grano de caucho mejorado,” Trabajo de investigación. Dpto. de Ingenierías. Univ. Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia, 2016.
- [12] N. Sánchez. y J. Ardila, “Optimización de la mezcla de concreto hidráulico por medio de la inclusión de escoria acerada reemplazando el agregado fino,” Trabajo de investigación. Dpto. de Ingenierías. Univ. Piloto de Colombia. Bogotá, D.C.; Colombia, 2013.

- [13] J. Porrero, F. Ramos y P. Velazco “Optimización de mezclas de concreto mediante la aplicación del método Walker y la introducción de un aditivo experimental” Trabajo de investigación. Dpto. de Ingenierías. Univ. Santo Tomás, Bogotá D.C, Colombia, 2018, pág 29.
- [14] R. Hernández, C. Fernández y P. Baptista, “*Metodología de la Investigación*”. Vol 2, 6^a ed. México, McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V, 2015. Pág 34.
- [15] A. Montejo y F. Montejo, “Tecnología y patología del concreto armado”, Trabajo de investigación. Dpto. de Ingenierías. Univ. Católica de Colombia, 2013, pág. 100.
- [16] N. B Sánchez y J. A Ardila, “Optimización de la mezcla de concreto hidráulico por medio de la inclusión de escoria acerada reemplazando el agregado fino” Trabajo de investigación. Dpto. de Ingenierías. Univ. Piloto de Colombia, Bogotá, 2013. Pág. 100.
- [17] Portland Cement Association, 2002, pág. 78, 79
- [18] A. Polanco, “Manual de prácticas de laboratorio de concreto”. Tesis Ph. D. Dpto. Ing. Civil., Univ. Autónoma de Chihuahua, 2014.
- [19] ASOCRETO. Tecnología del concreto. C1: Diseño de mezclas.
- [20] ConstruyaFacil.org – Dosificaciones por Volumen. Tomado de: [<https://www.construyafacil.org/2012/05/dosificaciones-por-volumen-en-mezclas.html>]
- [21] Normas y especificaciones INVIAS, INVE 630-13, tomado de: <https://pdfcoffee.com/630-concreto-estructuralpdf-2-pdf-free.html>
- [22] Ingeniería y laboratorio (2018).

- [23] INVIAS. Análisis granulométrico de suelos por tamizado INVE 123-07. Tomado de:
<https://www.monografias.com/docs/Norma-inv-e-123-P32WJWVFCDU2Z>
- [24] Normas y especificaciones INVIAS, INV E 100, tomado de:
<https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos>
- [25] J. Cañas “Análisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso y determinación de material más fino que el tamiz No. 200 en agregado mineral por lavado” Trabajo de investigación. Dpto. de Ingenierías. Univ. Centro América, Bogotá, 2016. Pág. 12.
- [26] W. Bolívar, L. Celis y J. Guzmán “Análisis de la degradación de los agregados pétreos a causa de la compactación por impactos canteras mitricol y doble a ingeniería” Tesis Ph. D. Dpto. Ing. Civil., Univ. Centroamericana, El Salvador, 2015.
- [27] W. Bolívar, L. Celis y J. Guzmán “Análisis de la degradación de los agregados pétreos a causa de la compactación por impactos canteras mitricol y doble a ingeniería” Tesis Ph. D. Dpto. Ing. Civil., Univ. Centroamericana, El Salvador, 2015.
- [28] L. Jiménez y E. Moreno “Durability indicators in high absorption recycled aggregate concrete” *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015 (8), tomado de:
https://www.researchgate.net/publication/283981652_Durability_Indicators_in_High_Absorption_Recycled_Aggregate_Concrete
- [29] E. Moreno, R. Solís, J. Varela, J. Pacho y R. Cua “Diffusion of chlorides in pozzolanic concrete made with high-absorption aggregates exposed under tropical marine environment” *International Journal of Electrochemical Science*, 10, 6444-6453, 2015. Tomado de: <http://www.electrochemsci.org/papers/vol10/100806444.pdf>

- [30] K. Imamoto & M. Arai “Specific surface area of aggregate and its relation to concrete drying shrinkage” *Materials and Structures*, 41 (2), 323-333. 2008, Tomado de: <http://doi.org/10.1617/s11527-007-9245-x> Link
[<https://tus.elsevierpure.com/en/publications/specific-surface-area-of-aggregate-and-its-relation-to-concrete-d>]
- [31] M. A. Pinto, “Exposición sobre módulo de finura de agregado fino y grueso” Curso de tecnología del concreto. 3 de Mayo de 2020. [Video en línea] Disponible en https://www.youtube.com/watch?v=ofu6m5TLBBY&ab_channel=MIGUELANGE
[LPINTOTapia](#)
- [32] R. López “Diseño de mezclas” Tecnología del concreto. 2014. Tomado de: [\[https://es.slideshare.net/FredrafuEnrifer/disenodemezclasenrriquerivvalopez\]](https://es.slideshare.net/FredrafuEnrifer/disenodemezclasenrriquerivvalopez)
- [33] D. Sánchez “Tecnología del concreto y del mortero” Pág. 143.
- [34] Cemex, Ficha técnica pavimentos, 2020 Tomado de: file:///D:/Downloads/ficha-mr.pdf
- [35] Norma Técnica de Edificación E.060, Concreto Armado, 2009.
- [36] E. Rivva “Diseño de Mezclas”, Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia, 2014.
Tomado de: [\[http://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/UAC/994/4/M%C3%B3nica_Tesis_bac_hiller_2017_Parte_2.pdf\]](http://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/UAC/994/4/M%C3%B3nica_Tesis_bac_hiller_2017_Parte_2.pdf)
- [40] L. Fonseca y E. Romero, “Elaboración del instrumento de carácter técnico ambiental que evidencie los diferentes procedimientos y técnicas necesarias para un desarrollo apropiado para la extracción de materiales de arrastre a partir del trabajo conjunto con las autoridades ambientales (Corporaciones Autónomas Regionales), el cual debe constituirse en una herramienta de consulta y orientación conceptual y metodológica para mejorar la gestión, manejo y desempeño minero-ambiental; con base en el

análisis realizado sobre seis ríos tipo” Dpto. de Ingenierías. Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, 2015. Pág. 104.

[41] L. Fonseca y E. Romero, “Elaboración del instrumento de carácter técnico ambiental que evidencie los diferentes procedimientos y técnicas necesarias para un desarrollo apropiado para la extracción de materiales de arrastre a partir del trabajo conjunto con las autoridades ambientales (Corporaciones Autónomas Regionales), el cual debe constituirse en una herramienta de consulta y orientación conceptual y metodológica para mejorar la gestión, manejo y desempeño minero-ambiental; con base en el análisis realizado sobre seis ríos tipo” Dpto. de Ingenierías. Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, 2015. Pág. 105.

[42] L. Fonseca y E. Romero, “Elaboración del instrumento de carácter técnico ambiental que evidencie los diferentes procedimientos y técnicas necesarias para un desarrollo apropiado para la extracción de materiales de arrastre a partir del trabajo conjunto con las autoridades ambientales (Corporaciones Autónomas Regionales), el cual debe constituirse en una herramienta de consulta y orientación conceptual y metodológica para mejorar la gestión, manejo y desempeño minero-ambiental; con base en el análisis realizado sobre seis ríos tipo” Dpto. de Ingenierías. Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, 2015. Pág. 107.

[43] L. Fonseca y E. Romero, “Elaboración del instrumento de carácter técnico ambiental que evidencie los diferentes procedimientos y técnicas necesarias para un desarrollo apropiado para la extracción de materiales de arrastre a partir del trabajo conjunto con las autoridades ambientales (Corporaciones Autónomas Regionales), el cual debe constituirse en una herramienta de consulta y orientación conceptual y metodológica para mejorar la gestión, manejo y desempeño minero-ambiental; con base en el

análisis realizado sobre seis ríos tipo” Dpto. de Ingenierías. Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, 2015. Pág. 139.

[44] L. Fonseca y E. Romero, “Elaboración del instrumento de carácter técnico ambiental que evidencie los diferentes procedimientos y técnicas necesarias para un desarrollo apropiado para la extracción de materiales de arrastre a partir del trabajo conjunto con las autoridades ambientales (Corporaciones Autónomas Regionales), el cual debe constituirse en una herramienta de consulta y orientación conceptual y metodológica para mejorar la gestión, manejo y desempeño minero-ambiental; con base en el análisis realizado sobre seis ríos tipo” Dpto. de Ingenierías. Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, 2015. Pág. 140.

[45] L. Fonseca y E. Romero, “Elaboración del instrumento de carácter técnico ambiental que evidencie los diferentes procedimientos y técnicas necesarias para un desarrollo apropiado para la extracción de materiales de arrastre a partir del trabajo conjunto con las autoridades ambientales (Corporaciones Autónomas Regionales), el cual debe constituirse en una herramienta de consulta y orientación conceptual y metodológica para mejorar la gestión, manejo y desempeño minero-ambiental; con base en el análisis realizado sobre seis ríos tipo” Dpto. de Ingenierías. Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, 2015. Pág. 156.

[46] C. Rojas y F. Peralta “Evaluación Técnica de los Agregados Pétreos empleados en mezclas de concreto, provenientes de las canteras (Casa Roja y La Capilla) del Municipio de Aguazul, Casanare” Dpto. de Ingenierías. Univ. Santo Tomás, 2020. Pág. 31.

[47] C. Rojas y F. Peralta “Evaluación Técnica de los Agregados Pétreos empleados en mezclas de concreto, provenientes de las canteras (Casa Roja y La Capilla) del

Municipio de Aguazul, Casanare” Dpto. de Ingenierías. Univ. Santo Tomás, 2020.
Pág. 34.

[48] “Reología del concreto y la importancia de los agregados” *Cemento Ultracem*. 16 de dic. de 2020. [Video en línea] Disponible en:
https://www.youtube.com/watch?v=TaNwRTN-xTE&ab_channel=CementoUltracem

[49] M. Mattio “La permeabilidad al agua como parámetro para evaluar la durabilidad del hormigón Parte I” Dpto. de Ingenierías. Univ. Nacional de Córdoba, 2014. Pág. 16

Apéndices

Apéndice A. *Formulación de anteproyecto*

Tabla 1. *Impacto*

Aspecto	Impacto	Plazo
Social	Mediante el presente proyecto de investigación se genera un impacto positivo en la comunidad en estudio y en general, ya que se brindará una optimización en un aspecto fundamental en la calidad de las edificaciones futuras, y posibles soluciones para las patologías estructurales presentadas.	Corto
Económico	Por otra parte, económicamente se aportará un mejor aprovechamiento del material. Cabe resaltar que, las edificaciones y obras civiles tienen una importancia en la economía y la influencia de los materiales en la misma es clave para brindar un impacto positivo en la misma.	Mediano
Técnico	Este proyecto de investigación será un factor guía en la toma de decisiones, facilitando que los directores optimicen los procesos de compra y tipos de mezclas en la ejecución de los proyectos.	Mediano
Ambiental	Finalmente, se reducirá el desperdicio de material, el exceso del dióxido de carbono que actúa, como un elemento que	Mediano

Aspecto	Impacto	Plazo
	proporciona fortaleza al hormigón. Así, el cemento y los agregados actuarían como clave en el impacto ambiental positivo.	

Apéndice B. Cronograma

Figura 1. Cronograma.

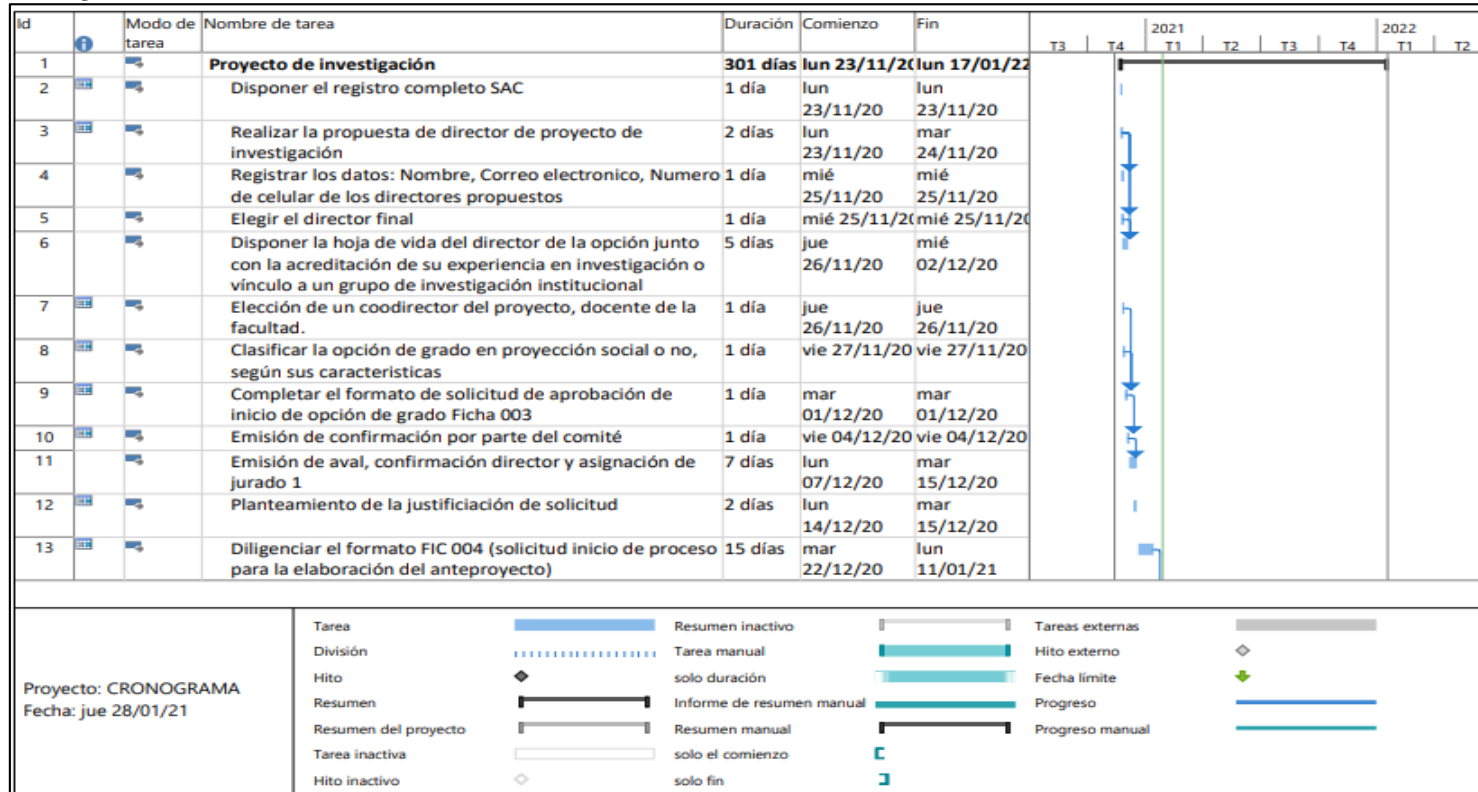


Figura 2. Cronograma

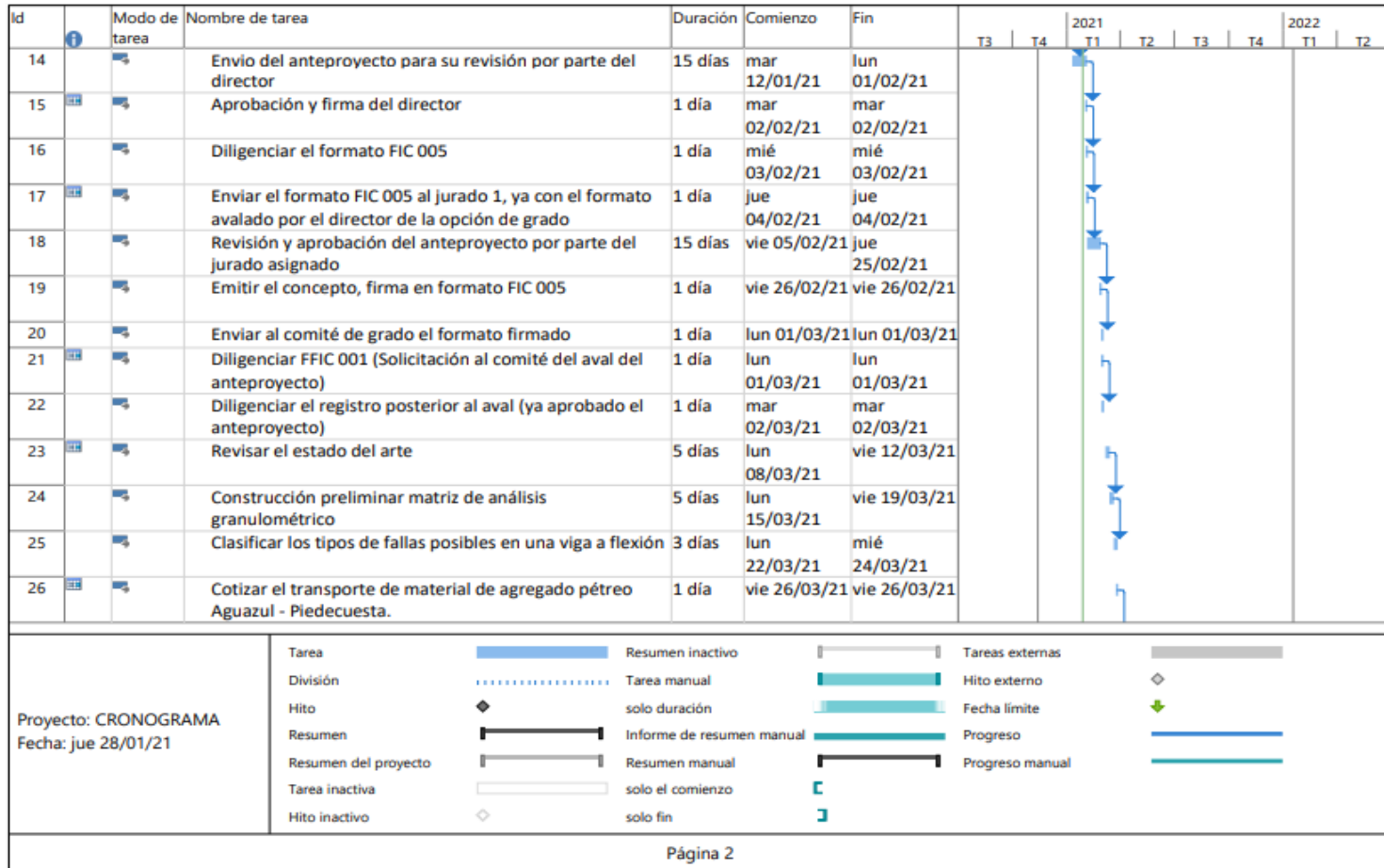


Figura 3. Cronograma

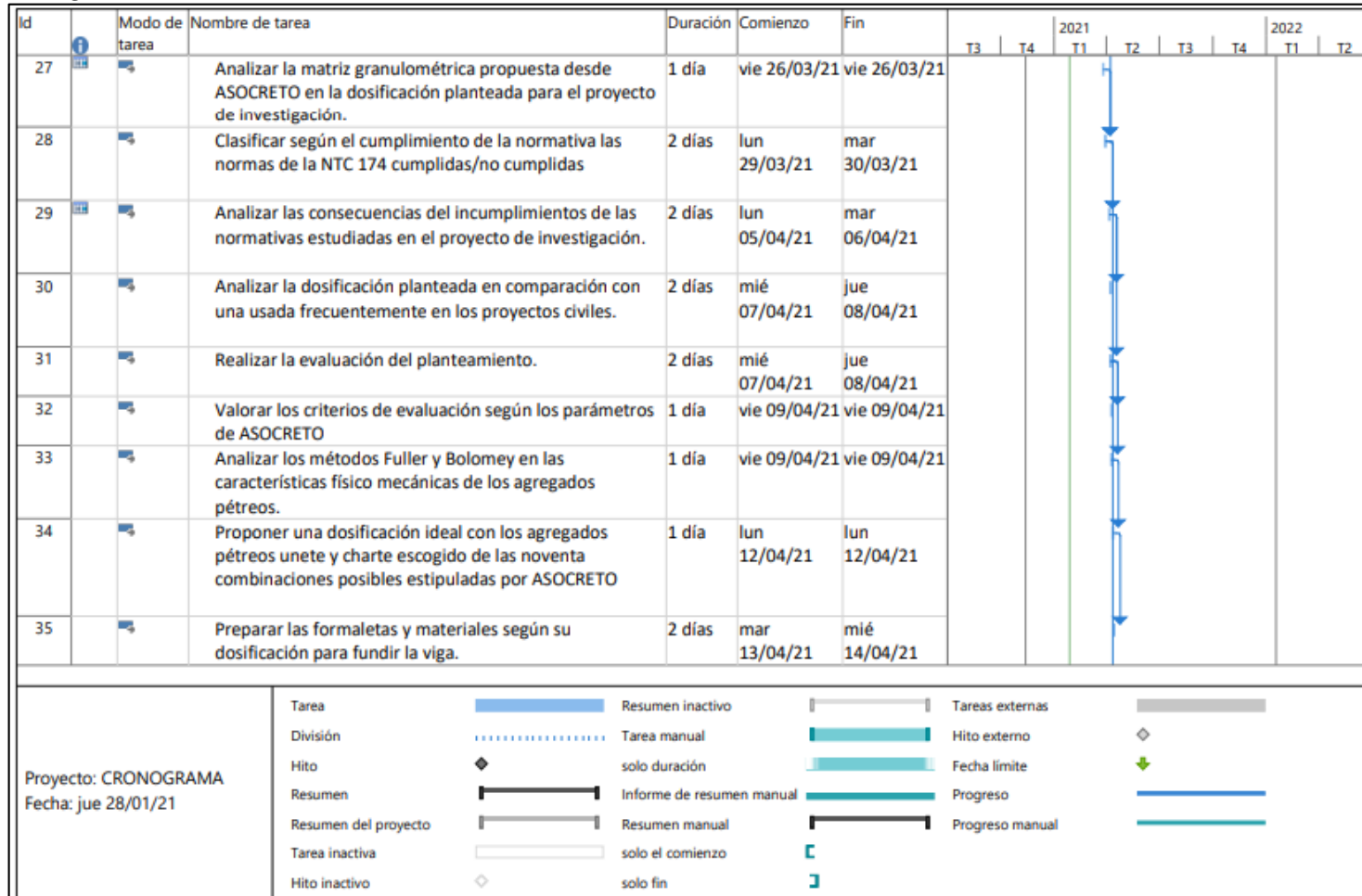


Figura 4. Cronograma

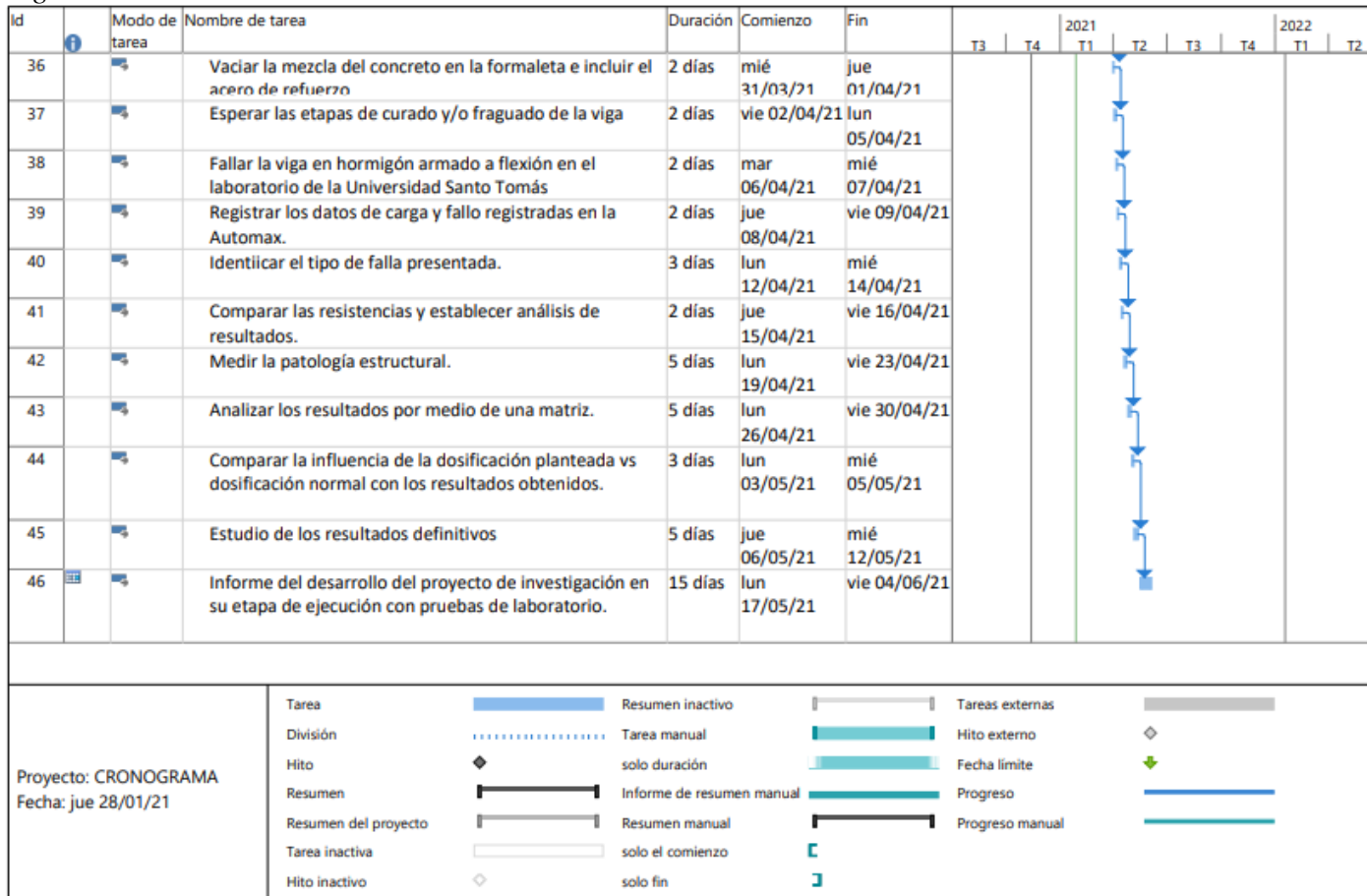


Figura 5. Cronograma

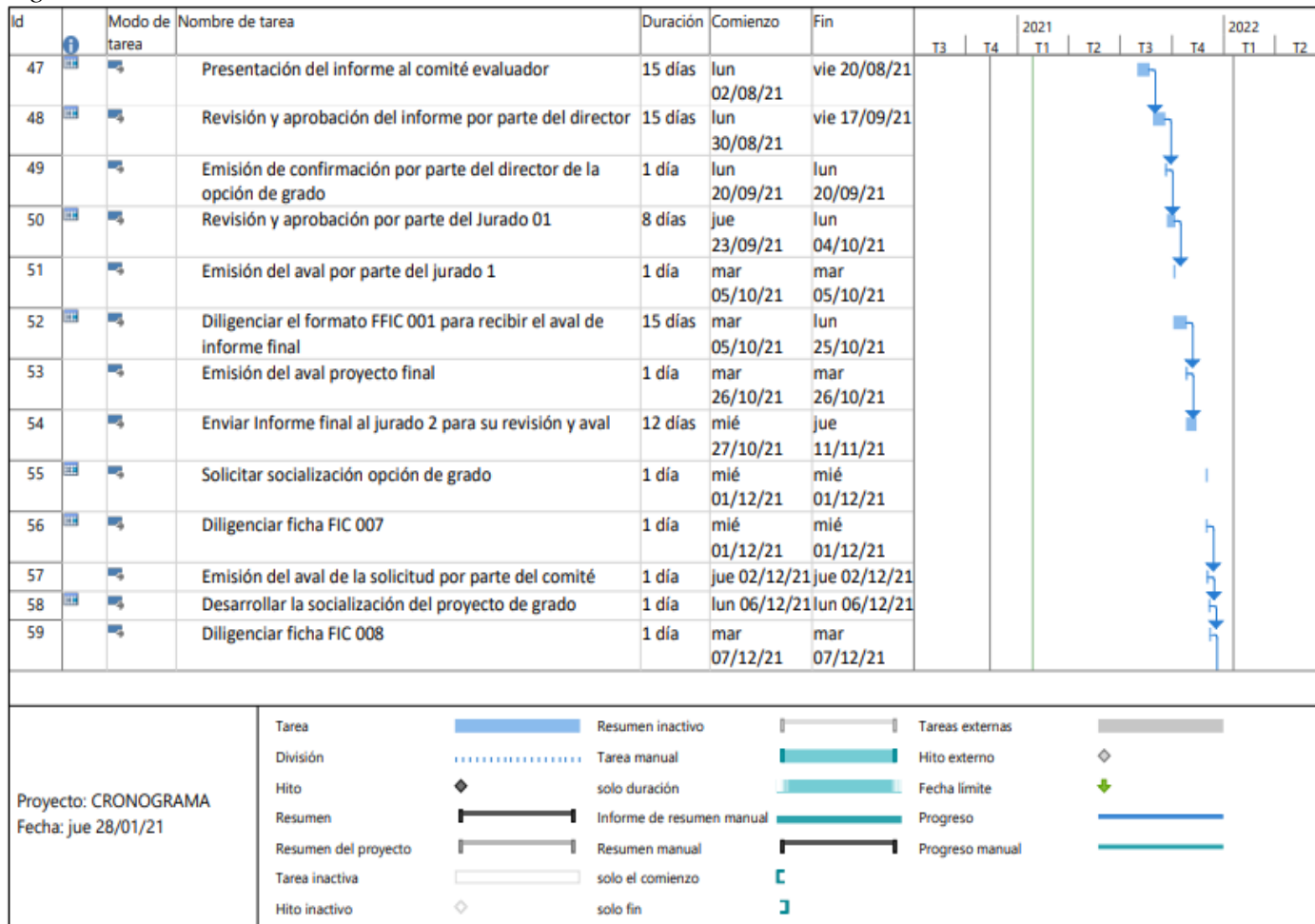
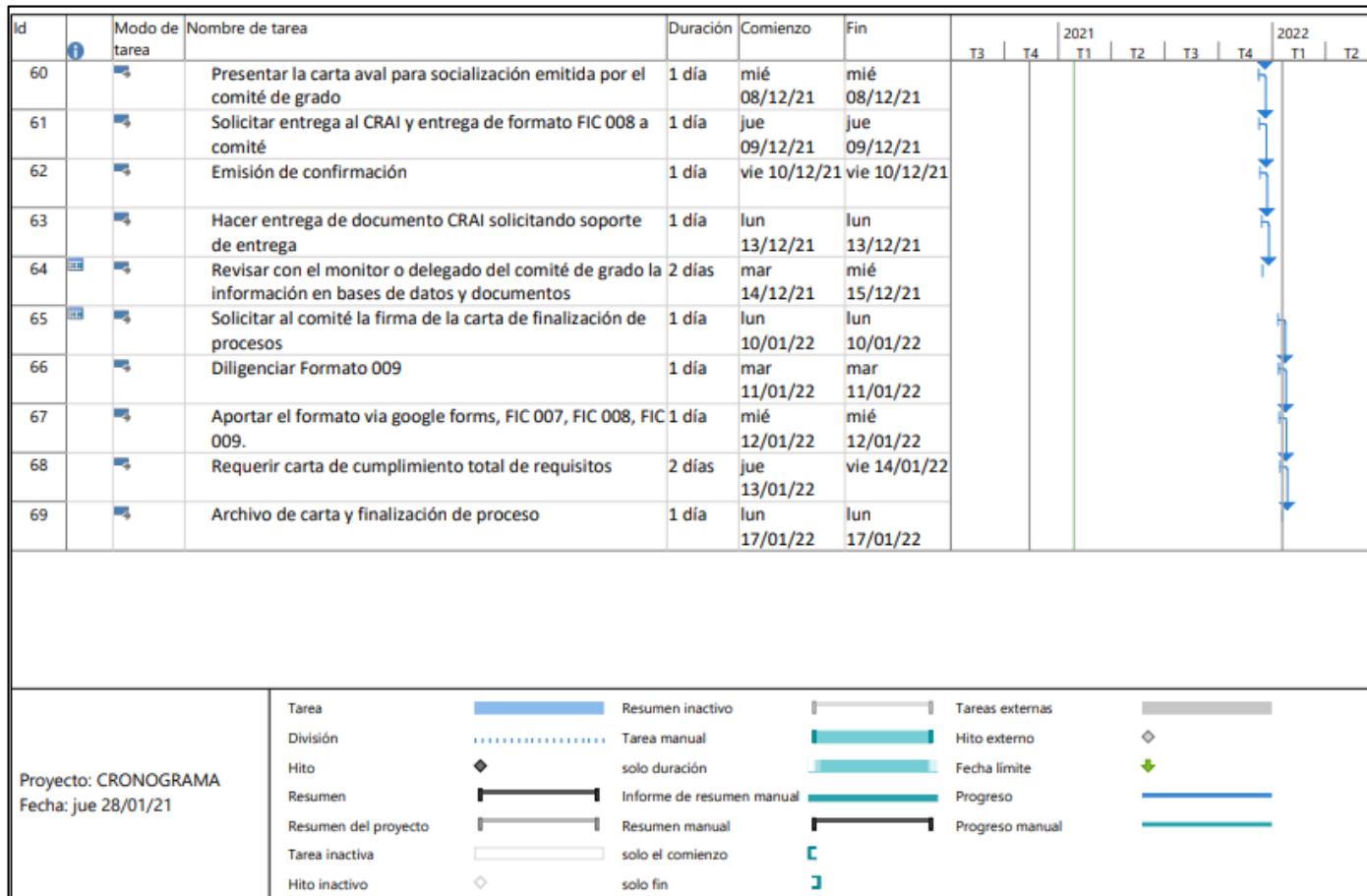


Figura 6. Cronograma



Apéndice C. Alcance

La investigación se basa en una prueba a flexión en una viga de hormigón. Esta resistencia se medirá mediante la aplicación de carga a la viga con su respectiva sección transversal y su luz aproximadamente de tres veces el valor de la altura propuesta en el elemento.

Por otra parte, se tendrán en cuenta los ensayos fisicoquímicos que se realizaron a los agregados pétreos de las canteras en estudio, con el que se aplica la metodología de la normativa ACI con la normativa granulométrica de ASOCRETO, para obtener una dosificación a una resistencia específica.

Apéndice D. *Delimitaciones*

En esta investigación no se evaluó el desplazamiento entre sustratos de concreto, ni la efectividad del puente de adherencia. Cabe resaltar, que no se realizarán pruebas a compresión por medio de cilindros, ya que la prueba será sólo a flexión.

Apéndice E. Presupuesto

Llevar a cabo la ejecución del proyecto trae consigo una serie de gastos económicos los cuales deben ser considerados por los investigadores, por tal razón en la siguiente tabla se cotiza un aproximado de los gastos necesarios para la ejecución del proyecto, en donde se estimaron las diferentes actividades que generan gastos, a partir de lo cual se obtuvo un total de \$2'395.000 necesarios para llevar a cabo el proyecto.

Tabla 1. Presupuesto.

N°	Actividad	Descripción	Und	Cantidad	Vr unitario	Vr porcentual de la actividad	Vr total de la actividad
1	Impresión de borradores de trabajo, entregas parciales e informe parcial	Impresiones y papelería	Und	500	\$ 150	3,13%	\$ 75.000
2	Transporte de material Casanare-Bucaramanga Libertadores	Encomienda	Viajes	2	\$ 50.000	8,35%	\$ 200.000
3	Materiales necesarios para la construcción de formaleta, puntillas y cemento.	Encomienda	Viajes	4	\$ 100.000	8,35%	\$ 200.000
4	Movilización para la realización de las diferentes actividades	Transporte público	Mensual	12	\$ 40.000	20,04%	\$ 480.000
5	Búsqueda de información para las bases teóricas del proyecto	Conexión a internet	Mensual	12	\$ 80.000	40,08%	\$ 960.000
6	Comunicación con el director y asesor del proyecto	Llamadas telefónicas	Mensual	12	\$ 40.000	20,04%	\$ 480.000
Total					\$ 310.150	100,00%	\$ 2.395.000

Apéndice F. Resultados esperados

Con el proyecto de investigación se pretende realizar un análisis de la influencia de una dosificación ideal propuesta en la prueba a fallo de una viga de hormigón armado, con el fin de que esta tenga un mejor comportamiento estructural, ahorrando pasta y otros materiales, teniendo en cuenta su resistencia brindando la oportunidad de deducir la relación de las características físico – mecánicas de los agregados pétreos con un hormigón de buena calidad. Los indicadores de resultados propuestos a continuación se enfocan en medir el cambio o comportamiento generado tras el cumplimiento de los objetivos específicos, se mencionan algunos indicadores de eficiencia, así como de impacto.

Tabla 1. *Indicadores de resultados esperados.*

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Parámetros físico – mecánicos de pruebas de laboratorio entregadas de las Canteras Unete y Charte verificadas.	$IN = (\#Normas \text{ aprobadas con dosificación analizadas}) / \#Normas \text{ en estudio}) * 100$	Verificar el cumplimiento de los parámetros físico – mecánicos en las pruebas de laboratorio realizados con los agregados pétreos de las canteras Unete y Charte.
Matriz de análisis donde se traten las implicaciones de los parámetros no cumplidos y cumplidos en los agregados pétreos.	$IN = (\#Normas \text{ aprobadas con dosificación analizadas}) / \#Normas \text{ en estudio}) * 100$	Analizar las implicaciones de los parámetros no cumplidos en los agregados pétreos por medio de una matriz de análisis.
Prueba a fallo a flexión en viga de hormigón armado con los agregados pétreos con su dosificación respectivamente	Momento último > Momento de diseño. $\rho_{beam} < \rho_{balanceada}$	Proponer una dosificación ideal con los agregados pétreos de las Canteras Unete y Charte, implementando los valores estipulados por Asocreto.

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
propuesta según las especificaciones ASOCRETO.		Evaluar la optimización de la dosificación ideal en la prueba de fallo a flexión de la viga de hormigón armado, propuesta con los agregados pétreos en estudio.
Reducción de cantidad de pasta en la viga de hormigón armado.	$IN = \frac{\text{Cantidad de pasta con dosificación}}{\text{Cantidad de pasta sin dosificación}} * 100$	<p>Proponer una dosificación ideal con los agregados pétreos de las Canteras Unete y Charte, implementando los valores estipulados por Asocreto.</p> <p>Evaluar la optimización de la dosificación ideal en la prueba de fallo a flexión de la viga de hormigón armado, propuesta con los agregados pétreos en estudio.</p>

Apéndice G. *Desarrollo metodológico para lograr cada objetivo propuesto.***Tabla 1.** *Desarrollo metodológico para lograr cada objetivo propuesto*

Objetivo	Actividad	Descripción de la actividad	Actores
Cumplir la aprobación del consejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	A1. Verificar créditos.	Verificar cumplimiento de desarrollo profesional cuyos créditos necesarios son 131.	Ejecutora de la investigación.
Presentar el formato 003 con los requisitos necesarios propuestos por la normativa.	A. Escoger participantes.	Elección de participantes en el proyecto de investigación para el proyecto de grado. En este caso, sólo hay una participante en el proyecto.	Ejecutora de la investigación.
Presentar el formato 003 con los requisitos necesarios propuestos por el concejo de la Universidad.	B. Revisar el estado del arte.	Revisar el estado del arte: Se realiza una revisión bibliográfica por medio de bases de datos, para investigar lo que se ha hecho en temas simultáneos, qué puede ser útil en el proyecto, qué no se ha investigado para innovar en el proyecto en estudio. Todo respecto a las características físico – mecánicas de los agregados pétreos.	Ejecutora de la investigación.
Presentar el formato 003 con los requisitos necesarios propuestos por el concejo de la Facultad.	C. Establecer el tema.	Establecer el tema de investigación: Se relaciona con la selección del tema de investigación, que se llevará a cabo en el proyecto de grado: Análisis de la influencia de agregados pétreos de un lugar específico de estudio en una prueba de falla a flexión en una viga de Hormigón Armado.	Ejecutora de la investigación.
Presentar el formato 003 con los requisitos necesarios propuestos por el concejo de la Facultad.	D. Línea de investigación.	Establecer la línea de investigación del proyecto de grado: Caracterización y comportamiento mecánico de materiales en Ingeniería Civil (CESCO), Materiales, técnicas y procesos de construcción sostenible (GINVEARQUI).	Ejecutora de la investigación.

Objetivo	Actividad	Descripción de la actividad	Actores
Presentar el formato 003 con los requisitos necesarios propuestos por el concejo de la Facultad.	E. Entidades involucradas.	Revisar las entidades involucradas en la opción, externas a la USTA.	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del consejo de evaluación para aprobación de anteproyecto: Sólo el formato 003 expuesto.	F. Requisitos anteproyecto.	Obtener los requisitos para el anteproyecto: son los requisitos con los cuales debe contar el documento que se entregará a la directora de proyecto de grado, ya que el proyecto es por medio del Semillero de Investigación.	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo/directora de evaluación para aprobación de anteproyecto.	G. Construcción de la propuesta.	Construcción de la propuesta: Actividad a partir de la cual se da forma a la propuesta (documento) siguiendo los lineamientos requeridos para la futura evaluación del comité.	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo/directora de evaluación para aprobación de anteproyecto.	H. Título.	Planteamiento del título del proyecto de investigación.	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo/directora de evaluación para aprobación de anteproyecto.	I. Identificación del problema.	Identificación del problema: Definir desde cuándo se presenta el problema, a quién se remite la investigación, qué resulta problematizado y plantear algunas soluciones.	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo/directora de evaluación para aprobación de anteproyecto.	J. Planteamiento de problema.	Planteamiento del desarrollo conceptual del problema.	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo/directora de evaluación para aprobación de anteproyecto.	K. Pregunta de investigación.	Formulación pregunta de investigación.	Ejecutora de la investigación

Objetivo	Actividad	Descripción de la actividad	Actores
Cumplir la aprobación del concejo/directora de evaluación para aprobación de anteproyecto.	L. Antecedentes de investigación.	Revisión de los antecedentes de investigación.	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo/directora de evaluación para aprobación de anteproyecto.	M. Objetivos y justificación.	Elaboración de objetivos y justificación. ¿Por qué?, ¿Para qué?, ¿Cómo?	Ejecutora de la investigación.
Cumplir la aprobación del concejo/directora de evaluación para aprobación de anteproyecto.	N. SAC	Disponer el registro completo SAC	Ejecutora de la investigación.
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto.	O. Propuesta de director.	Realizar la propuesta de director de proyecto de investigación.	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto.	P. Registro de datos.	Realizar la propuesta de director de proyecto de investigación.	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto.	Q. Elección.	Elegir el director final	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto.	R. Requerir hoja de vida.	Disponer la hoja de vida del director de la opción junto con la acreditación de su experiencia en investigación o vínculo a un grupo de investigación institucional	Ejecutora de la investigación Director

Objetivo	Actividad	Descripción de la actividad	Actores
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	S. Elección codirector	Elección de un codirector del proyecto, docente de la facultad.	Ejecutora de la investigación & Codirector.
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	T. Clasificar opción de grado.	Clasificar la opción de grado en proyección social o no, según sus características.	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	W. Completar el formato.	Completar el formato de solicitud de aprobación de inicio de opción de grado Ficha 003.	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	X. Emisión comité.	Emisión de confirmación por parte del comité	Directora de grado.
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	Y. Emisión Aval.	Emisión de aval, confirmación director y asignación de jurado 1	Directora de grado.
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	Z. Planteamiento de la justificación de solicitud .	¿Por qué se envía la solicitud del proyecto de investigación?	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	AA. Entrega documento.	Anteproyecto de grado: Documento que se entrega al comité de grado, a través del cual se da a conocer cómo se desarrollará el proyecto de grado y qué significa	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	AB. Diligenciar formato.	Diligenciar el formato FIC 004 (solicitud inicio de proceso para la elaboración del anteproyecto)	Ejecutora de la investigación

Objetivo	Actividad	Descripción de la actividad	Actores
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	AC. Entrega director.	Entrega del documento de anteproyecto al director de opción	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	AD. Diligenciar formato.	Diligenciar el formato FIC 005	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	AE. Envío del formato.	Enviar el formato FIC 005 al jurado 1, ya con el formato avalado por el director de la opción de grado	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	AF. Revisión y aprobación.	Revisión y aprobación del anteproyecto por parte del jurado asignado.	Directora de grado.
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto.	AG. Emitir concepto	Emitir el concepto, firma en formato FIC 005	Directora de grado.
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto.	AH: Envío formato	Enviar al comité de grado el formato firmado	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	AI. Diligenciar formato.	Diligenciar FFIC 001 (Solicitud al comité del aval del anteproyecto).	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	AJ. Diligenciar registro	Diligenciar el registro posterior al aval (ya aprobado el anteproyecto).	Ejecutora de la investigación

Objetivo	Actividad	Descripción de la actividad	Actores
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto.	AK. Informe	Informe desarrollo del proyecto Documento entregado a la directora con los respectivos análisis de resultados.	Ejecutores de la investigación
Verificar el cumplimiento de los parámetros físico – mecánicos en las pruebas de laboratorio realizados con los agregados pétreos de las canteras Unete y Charte.	AL. Construcción tabla de análisis.	Se realiza un tipo de matriz de análisis en el que se clasifican las normativas con su respectivo ensayo, si se cumple o no y sus respectivas consecuencias e indicaciones.	Ejecutora de la investigación
Verificar el cumplimiento de los parámetros físico – mecánicos en las pruebas de laboratorio realizados con los agregados pétreos de las canteras Unete y Charte.	AM. Revisión del estado del arte en normativa (de cada característica).	Se realiza una revisión bibliográfica por medio de bases de datos, para investigar lo que se ha hecho en temas simultáneos, qué puede ser útil en nuestro proyecto, qué no se ha investigado para innovar en el proyecto en estudio.	Ejecutora de la investigación
Analizar las implicaciones de los parámetros no cumplidos en los agregados pétreos por medio de una matriz de análisis.	AN. Conclusiones de la tabla.	Se propone una tabla de verificación en la que se propone una alternativa para cada incumplimiento teniendo en cuenta las repercusiones. Se añade un poco de teoría recolectada en la revisión del E.A para contextualizar.	Ejecutora de la investigación
Proponer una dosificación ideal con los agregados pétreos de las Canteras Unete y Charte,	AÑ. Revisión del estado del arte.	Revisar los recursos bibliográficos que traten sobre la granulometría, tipos de dosificaciones y demás, para proponer una dosificación ideal que logre mejorar las características físico - mecánicas que tendrá la viga analizada.	Ejecutora de la investigación

Objetivo	Actividad	Descripción de la actividad	Actores
implementando los valores estipulados por Asocreto.	Proponer una dosificación ideal con los agregados pétreos de las Canteras Unete y Charte, implementando los valores estipulados por Asocreto.	AO. Realizar combinaciones probabilísticas. Con las diferentes dosificaciones propuestas por ASOCRETO, se plantean las combinaciones posibles.	Ejecutora de la investigación
Proponer una dosificación ideal con los agregados pétreos de las Canteras Unete y Charte, implementando los valores estipulados por Asocreto.	AP. Seleccionar la combinación más óptica.	Con las diferentes dosificaciones propuestas por ASOCRETO, se escoge la combinación más acertada.	Ejecutora de la investigación
Proponer una dosificación ideal con los agregados pétreos de las Canteras Unete y Charte, implementando los valores estipulados por Asocreto.	AQ. Acordar transporte de material desde Casanare a Bucaramanga, Santander.	Acordar con los Ingenieros la recolección del material desde las canteras en estudio, para su respectivo estudio en el laboratorio de la Universidad.	Ejecutora de la investigación e Ingenieros de Aguazul, Casanare.
Proponer una dosificación ideal con los agregados pétreos de las Canteras Unete y Charte,	AR. Realizar la mezcla.	Realizar la mezcla de hormigón y disponer los alambres para reforzar la viga de prueba.	Ejecutora de la investigación, y ayudante.

Objetivo	Actividad	Descripción de la actividad	Actores
implementando los valores estipulados por Asocreto.	AS. Esperar 28 días.	Se esperan los 28 días para poder fallar la viga.	Ejecutora de la investigación, y ayudante.
Proponer una dosificación ideal con los agregados pétreos de las Canteras Unete y Charte, implementando los valores estipulados por Asocreto.	AT. Fallar la viga.	Se dispone la viga en hormigón armado para prueba de falla a flexión.	Ejecutora de la investigación, y ayudante.
Proponer una dosificación ideal con los agregados pétreos de las Canteras Unete y Charte, implementando los valores estipulados por Asocreto.	AU. Registro de datos.	Se registran los datos del comportamiento del elemento durante la prueba.	Ejecutora de la investigación.
Proponer una dosificación ideal con los agregados pétreos de las Canteras Unete y Charte, implementando los valores estipulados por Asocreto.	AV. Evaluación de las características físico –	Se registran los datos del comportamiento del elemento durante la prueba y se realiza su respectivo análisis de resultados.	Ejecutora de la investigación.
Evaluar la optimización de la dosificación ideal propuesta con los agregados pétreos en estudio.			

Objetivo	Actividad	Descripción de la actividad	Actores
	mecánicas de la prueba.		
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	BH. Redactar informe	Presentación del informe al comité evaluador y al director	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	BI. Aprobación de informe	Emisión de confirmación por parte del director de la opción de grado y del comité.	Director y comité de evaluación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	BJ. Revisión.	Emisión del aval por parte del jurado 1	Directora.
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	BN. Diligenciar formato	Diligenciar el formato FFIC 001 para recibir el aval de informe final.	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	BS. Socialización del proyecto	Desarrollar la socialización del proyecto de grado.	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	BT. Diligenciar ficha 008.	Para requerir AVAL.	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	BU. Presentar carta	Presentar carta aval para socialización emitida por el comité de grado	Ejecutora de la investigación

Objetivo	Actividad	Descripción de la actividad	Actores
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	BX. Documento CRAI.	Hacer entrega de documento CRAI solicitando soporte de entrega	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	BY. Revisar documentos	Revisar con el monitor o delegado del comité de grado la información en bases de datos y documentos	Ejecutora de la investigación Monitor
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	CB. Diligenciar formato 009	Diligenciar Formato 009	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	CD. Requerir carta	Requerir carta de cumplimiento total de requisitos	Ejecutora de la investigación
Cumplir la aprobación del concejo de evaluación para aprobación de anteproyecto	CF. Archivar carta	Archivo de carta y finalización de proceso	Ejecutora de la investigación

Apéndice H. *Bitácora obtención y transporte de material desde La cantera La Capilla
Río Charte*

Para realizar las pruebas de fallo en el laboratorio y lograr analizar las propiedades mecánicas del hormigón implementando los agregados de la cantera en estudio es necesario contar con los mismo, ya sea la arena de la arena grano grueso producto de trituración color café y la grava angular color café y blanco con tamaño máximo nominal $\frac{3}{4}$ ", así que se procede a ir a La Cantera La Capilla del Río Charte y así obtener el material.

Se compran de esta forma dos bultos de cada material tal como se muestra en la figura 1.

Figura 1. *Recolección de material en cantera la Capilla, Aguazul.*



Para llegar a la cantera se hizo necesario un medio de transporte adecuado, puesto que para llegar hay varios tramos de vía sin pavimentar, así que se adaptó una camioneta para lograr llegar a la cantera.

La ruta para llegar a la cantera inicia desde el puente que se encuentra en Aguazul.

Al llegar se pueden notar los áridos acumulados y separados, al igual que las trituradoras, en este caso se pudo comprar la cantidad necesaria al dialogar con los

encargados y decir que era para unos arreglos de una vivienda, ya que no se vende poco material.

Figura 2. *Cantera La Capilla; Río Charte, Aguazul*



Figura 3. *Arena triturada cantera La Capilla, Río Charte*



Como se aprecia en la figura 3, la arena muestra un color característico, ya que parece que tuviese un poco de tierra en ella.

Posteriormente, los bultos de material son transportados a Bucaramanga por un bus de viajes y finalmente desde Bucaramanga es transportado a Ocaña, Norte de Santander por medio de Cootransunidos.

Cabe resaltar que, desde su llegada, el material tuvo un correcto almacenamiento en un ambiente donde no se presentó humedad, ni altas temperaturas, bajo techo y la fundición de las vigas y cilindros se llevaron a cabo en el menor tiempo posible para asegurar menos desperdicio por factores como el aire entre otros.

Apéndice I. Proceso de fundición de los especímenes

Se llega al laboratorio y se conecta la balanza electrónica para pesar los bultos de grava y arena que se trajeron desde el municipio de Aguazul Casanare de la cantera la Capilla del Río Charte, como se aprecia en la figura 1.

Figura 1. Peso de la grava en kilogramos

Como se aprecia en la figura 1, el peso total del material extraído de la cantera Charte y transportado hasta Ocaña Norte de Santander es de 47.25 Kilogramos.

Con este valor se rectifica la cantidad requerida según el diseño de mezcla calculado por el método ACI. Posteriormente, se realiza el mismo procedimiento con la arena rectificando que el material extraído y transportado de la cantera Charte es suficiente.

Figura 2. Peso del material fino en laboratorio

En este caso según se ve en la pantalla, se dispone con 40.75 Kilogramos de arena triturada. Cabe resaltar que la grava es angular $\frac{3}{4}$.

Después de rectificar las cantidades de los agregados se elige el sitio donde se depositarían tanto la arena como la grava y el cemento. Inicialmente se limpió una parte con pasto con ayuda de una macheta, pero poco después se decide que es mejor verter la mezcla en una parte con cerámica que ya tenía restos de cemento de una mezcla anterior, y así se desperdiciaría menos el material como se ve en la figura 3.

Figura 3. *Se verte el material in situ.*



Es así como con ayuda de una pala, se empieza a llenar un cuñete para pesar las cantidades exactas de la dosificación con ayuda de la balanza electrónica.

Cabe resaltar que primero se tara el peso del cuñete para que la cantidad que se midió de material fuera sólo de material como se aprecia en la figura 4.

Figura 4. *Preparación de cantidades de material para la fundición de los especímenes*



Se repite el paso hasta pesar la cantidad exacta que pide el diseño de mezcla por la metodología ACI que se calculó. En el caso de la arena los 19.77 Kilogramos.

Si se pasaba la cantidad se utilizaba la cuchara para concreto para sacar de pocas cantidades el agregado y así lograr la cifra exacta.

Se realiza el mismo procedimiento para la grava. Según el diseño de mezcla se requieren 37.13 Kilogramos, por lo que se llena el cuñete nuevamente con ayuda de la pala y la cuchara para que la cifra que arroja la balanza sea la exacta requerida para el diseño de mezcla calculado con la metodología ACI.

Después de pesar los agregados, se procede a pesar la cantidad de cemento que se calculó con la metodología ACI que eran 19,5455 Kilogramos.

Cuando ya se tienen las cantidades exactas de los agregados y cemento se disponen en el lugar de la mezcla de la siguiente manera: Se verte la arena, se le hace un hueco en la mitad y se verte la grava y el cemento respectivamente como se aprecia en la figura 5.

Figura 5. *Disposición de los agregados y cemento.*



En el diseño de mezcla calculado con la metodología del ACI se calculan los litros de agua, pero para hacerlo más exacto se calcula con ayuda de la densidad del agua el peso y se llena el cuñete con el “peso” del agua calculado. Tomando como la densidad del agua los 997 Kg/m³. En el cálculo se definen 9.71385 Kilogramos.

Se transporta el balde de agua y se va llenando el cuñete que ya estaba tarado en la balanza y se llega a la cantidad exacta de agua requerida en la dosificación calculada.

Se mezclan los agregados y el cemento en seco con ayuda de la pala en vueltas de tres como se muestra en la figura 6.

Ya mezclados la arena la grava y el cemento muy bien, se vertió el agua calculada en la mitad y se va integrando poco a poco de afuera hacia adentro en vueltas de tres.

Figura 6. *Proceso de mezclado del hormigón en laboratorio*



Se repite el procedimiento de mezcla, hasta que se vea completamente homogénea. En este caso al verter con exactitud las cantidades no se requirió más agua ni más material, todo se dio con exactitud.

Al tener ya lista la mezcla de hormigón, se procede a realizar la prueba de cono de abrams, o de asentamiento. En esta etapa se humedeció la superficie de la chapa base y el interior del cono de abrams y se eliminó el exceso de agua. Para ello, se colocan los pies en los orillos del cono y no se levantaron hasta retirar el cono, se llenó un tercio del cono aproximadamente tres cucharas de concreto y con ayuda de la barra se dan 25 golpes en forma aleatoria cubriendo toda la superficie interior del cono como se muestra en la figura 7:

Figura 7. *Ensayo de asentamiento por Cono de Abrams*



Se llena otro tercio del cono con otras tres cucharas aproximadamente, teniendo en cuenta que el orificio se empieza a reducir, en este caso se dan nuevamente 25 golpes con la barra que tiene punta redonda y no se introduce hasta el fondo, ya que es sólo el material que se acababa de introducir el que necesitaba ser golpeado, sólo se penetra un poco de la capa inferior.

Posteriormente, se llena el último tercio con la mezcla de hormigón y se repiten los 25 golpes, al terminar se levantó el cono verticalmente y se toma el registro del asentamiento. Se registra un asentamiento de 4.5 cm o 45 mm. Se daban los golpes con la barra de 16 mm y se vibraba con la porra de 10 golpes respectivamente hasta llenar el cilindro se repitió el mismo procedimiento.

Figura 8. *Vertido del concreto en las formaletas.*



Al fundir la totalidad de vigas y cilindros se dejan secándose en una temperatura ambiente, y se tiene en cuenta que en la noche la temperatura fue de 12°. Se ponen encima de las case de chapa para que los especímenes no se pegaran al suelo.

Figura 9. *Especímenes fundidos en laboratorio.*



Finalmente, se realiza la respectiva limpieza de laboratorio y lavado de las herramientas usadas en el mismo.

Apéndice J. Fraguado y desencofrado

Se abren las formaletas de las vigas y los cilindros con ayuda de la herramienta y poco a poco se van dando golpes con ayuda del martillo y se abren cuidadosamente de los lados la viga con ayuda del palustre para no causar el desmoronamiento del hormigón al quitar la formaleta, se le da golpes al palustre y así se retira el espécimen para transportar a las piletas tal como se ve en la figura 1.

Figura 1. Desencofrado de vigas

Los especímenes fueron depositados en la pileta del laboratorio Geotec, este no presenta natas al momento de depositar las vigas y los cilindros y tampoco tiene cal viva o cualquier otra sustancia en él.

Apéndice K. Prueba de fallo de los especímenes

Inicialmente se pasa a la zona de concretos para sacar las vigas y los cilindros de la pileta para su respectivo fallo tal como se ve en la figura 1.

Figura 1. Etapa de curado de las vigas y cilindros.



Como se aprecia en la figura 1, en todo el laboratorio las únicas vigas eran las del presente estudio, puesto que en las obras civiles no es tan común probar la flexión o tracción en los testigos o especímenes. Posteriormente, se procede a secar las vigas para marcarlas, es decir, con un marcador negro “marcar” a 2.54 cm en a izquierda y a 2.54 cm en la derecha para ubicar los apoyos de la máquina de ensayos para concretos.

Se decide iniciar la prueba a resistencia a la compresión uniaxial. Limpiando la superficie de la automax. Cabe resaltar que todo el manejo de las máquinas de ensayo fue supervisado por el laboratorista, ya que no se acepta que personal sin conocimiento las maneje como se aprecia en la figura 2:

Figura 2. Prueba de resistencia a compresión uniaxial de concreto



Se cierra la puerta de la máquina, puesto que al fallar el cilindro pueden salir a volar pedazos del mismo. Al activar la automax la PINZUAR empieza a digitar los números de la resistencia poco a poco, aumentando a una velocidad por segundo. Esta máquina detecta cuándo falla el espécimen y para por sí sola.

La dosificación fue diseñada para 4800 psi, así que a medida que aumentaba la resistencia del cilindro se sabía si estaba cumpliéndose o no. El primer cilindro falla a los 5655 psi como se puede apreciar en la figura 3.

Figura 3. Prueba de resistencia a compresión uniaxial de concreto en el primer cilindro



Teniendo entonces el primer registro se procede a fallar el segundo cilindro. Con el mismo procedimiento de limpieza de la superficie de la automax y cerrar la puerta metálica de la máquina de ensayo de concreto. Como se aprecia en la figura 4.

Figura 4. Prueba de resistencia a compresión uniaxial de concreto para el segundo cilindro



Al activar la automax la PINZUAR empieza a digitar los números de la resistencia poco a poco, aumentando a una velocidad por segundo. Esta máquina detecta cuándo falla el

espécimen y para por sí sola. La dosificación fue diseñada para 4800 psi, así que a medida que aumentaba la resistencia del cilindro se sabía si estaba cumpliéndose o no. El segundo cilindro falla a los 5270 psi tal como se ve en la figura 4.

Se realiza el mismo procedimiento con los especímenes restantes. Se registra la resistencia del tercer espécimen como se aprecia en la figura 5.

Figura 5. Prueba de resistencia a compresión uniaxial de concreto tercer cilindro



Al activar la automax la PINZUAR empieza a digitar los números de la resistencia poco a poco, aumentando a una velocidad por segundo. Esta máquina detecta cuándo falla el espécimen y para por sí sola. La dosificación fue diseñada para 4800 psi, así que a medida que aumentaba la resistencia del cilindro se sabía si estaba cumpliéndose o no. El tercer cilindro falla a los 5214 psi.

Con el registro, se procede a tomar fotografías del cilindro fallado para analizar su falla y el comportamiento. El análisis de los tipos de fallas se desglosará en el documento del proyecto de grado. Al terminar con las pruebas de fallo de los cilindros se procede a fallar las vigas, iniciando con la toma de altura, ancho y largo de cada una. Se ubican los apoyos donde se habían marcado las vigas y se empieza a aplicar la respectiva carga hasta que falla la viga, por la mitad como se aprecia en la figura 6.

Figura 6. *Prueba de resistencia a tracción en viga 1*

Al activar la LEXUS MATRIX empieza a digitar los números de la resistencia poco a poco, aumentando a una velocidad por segundo. Esta máquina detecta cuándo falla el espécimen y para por sí sola. La carga aplicada que resistió la primera viga analizada es de 31.55 KN.

Al tomar el registro de la carga, se procede a fallar la segunda. Repitiendo el mismo procedimiento y limpiando con ayuda de una toalla los apoyos ya que se humedecieron un poco con la falla de la viga anterior como se aprecia en la figura 7.

Figura 7. *Prueba de resistencia a tracción en viga de hormigón 2*

De igual manera, se ubican los apoyos donde se habían marcado las vigas y se empieza a aplicar la respectiva carga hasta que falla la viga, por la mitad. La carga aplicada que resistió la segunda viga analizada es de 25.34 KN. Al tomar el registro de la carga como

