

**CONCRETO SOSTENIBLE: EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO EN UNA MEZCLA DE CONCRETO CON ADICIÓN
PARCIAL DE HUESO BOVINO**

Jhon Jairo Suárez Martínez, Michael Andrés Camacho Martínez



Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C.

2025

**Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de
hueso bovino**

Jhon Jairo Suárez Martínez, Michael Andrés Camacho Martínez

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director Ingeniero Jaime Iván Mora Samacá



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C.

2025

Dedicatoria

El presente trabajo investigativo está dedicado en primer lugar a Dios, por ser ese faro en nuestras vidas, brindándonos la claridad, la perseverancia y la fe necesaria para culminar este proyecto. En segundo lugar, a nuestros padres Claudia, Alicia y Jairo y hermanos Kevin, Sebastián y Camilo quienes con su constante apoyo trazaron una meta clara en nuestras aspiraciones académicos y profesionales. Por último, queremos dedicar este esfuerzo a nuestras esposas, personas esenciales en la culminación exitosa de este gran proyecto.

Agradecimientos

Agradecemos sinceramente al ingeniero Iván Mora, director de este trabajo de tesis, por su valiosa orientación y constante apoyo durante el desarrollo del proyecto. Extendemos nuestro agradecimiento a la ingeniera Sandra Sánchez por su disposición y acompañamiento, así como al laboratorista José, cuyo compromiso fue fundamental. También expresamos nuestra gratitud a nuestro amigo Juan González por su invaluable ayuda técnica y teórica, que fue clave para el desarrollo del proyecto. Gracias a todos ellos y a la Universidad La Gran Colombia por brindarnos el espacio y el acceso a los equipos del laboratorio, este trabajo fue posible.

Tabla de Contenido

RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
INTRODUCCIÓN	18
OBJETIVOS.....	20
OBJETIVO GENERAL	20
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	22
PLANTEAMIENTO Y PREGUNTA PROBLEMA	22
JUSTIFICACIÓN	23
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	25
2.1. ANTECEDENTES	25
2.2. BASE TEÓRICA.....	26
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	28
2.4. ORIENTACIÓN DEL MARCO TEÓRICO.....	29
CAPÍTULO III: MARCO NORMATIVO	30
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.....	36
4.1. ENFOQUE.....	37
4.2. ALCANCE.....	37
4.3. DISEÑO.....	37
4.3.1. <i>Recolección y preparación del hueso</i>	38
4.3.2. <i>Cemento</i>	38
4.3.3. <i>Agregado grueso</i>	39

4.3.4. Agregado fino	39
4.3.5. Diseño de mezclas.....	40
4.3.6. Fundición y curado de cilindros.....	42
4.3.7. Ensayo de compresión de cilindros	43
4.3.8. Tipos de falla de los cilindros a compresión	44
4.4. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN	45
CAPÍTULO V: RESULTADOS	49
5.1 AGREGADOS PÉTREOS	49
5.1.1 Contenido de agua	49
5.1.2 Composición Granulométrica.....	50
5.1.3 Limpieza	52
5.1.4 Dureza	53
5.1.5 Geometría de las Partículas	54
5.1.6 Densidad y Absorción de los Agregados	55
5.1.7 Masas Unitarias de los Agregados.....	57
5.2 CEMENTO Y HUESO BOVINO	58
5.3 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	60
5.3.1 Selección de Fluidéz.....	60
5.3.2 Contenido de Aire.....	61
5.3.3 Contenido de Agua de Mezclado	62
5.3.4 Resistencia de Diseño.....	63
5.3.5 Relación Agua-Material Cementante.....	63
5.3.6 Estimación Volúmenes de la Mezcla	64
5.3.7 Optimización Granulométrica	66
5.3.8 Estimación de la cantidad de agregados	67

5.3.9 Corrección de la cantidad de agua de la mezcla	69
5.3.10 Dosificación para 1 m ³	71
5.3.11 Dosificación para 17 Litros	73
5.4 REGISTRO DE ASENTAMIENTO	75
5.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	77
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS	84
6.1 AGREGADOS PÉTREOS	84
6.1.1 Composición Granulométrica	84
6.1.2 Limpieza	86
6.1.3 Dureza	87
6.1.4 Geometría de las Partículas	88
6.2 CEMENTO Y HUESO BOVINO	89
6.3 CONTROL DE CALIDAD DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO	90
6.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	94
6.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	107
6.6 VIABILIDAD EN SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS	114
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	117
CAPITULO VII: CONCLUSIONES	121
CAPITULO VIII: RECOMENDACIONES	124
LISTA DE REFERENCIA O BIBLIOGRAFÍA	127
ANEXOS	129

Lista de Figuras

Figura 1. Composición química aproximada del cemento Portland.	27
Figura 2. Prensa hidráulica para ensayo de compresión de cilindros.	43
Figura 3. Esquemas de falla típicos en cilindros de concreto.	44
Figura 4. Distribución Granulométrica del Agregado Fino.	51
Figura 5. Distribución Granulométrica del Agregado Grueso.	51
Figura 6. Características volumétricas en una mezcla de concreto.	54
Figura 7. Estados volumétricos de las partículas de un suelo.	56
Figura 8. Contenido de Aire según TMN y Niveles de Exposición.	61
Figura 9. Cantidad de Agua de Mezclado según Contenido de Aire, Asentamiento y TMN.	62
Figura 10. Cantidad de Agua de Mezclado según Textura del Agregado Grueso, Asentamiento y TMN.	63
Figura 11. Valor de Relación Agua/Material Cementante.	64
Figura 12. Estimación del volumen de la mezcla de concreto convencional.	65
Figura 13. Estimación del volumen de la mezcla de concreto con 10% de sustitución de cemento por hueso bovino calcinado.	65
Figura 14. Estimación del volumen de la mezcla de concreto con 15% de sustitución de cemento por hueso bovino calcinado.	65
Figura 15. Optimización Granulométrica por el Método Gráfico (RNL).	66
Figura 16. Granulometría combinada según metodología Fuller y Thompson.	67
Figura 17. Cantidad de agregados para el diseño de concreto convencional.	68
Figura 18. Cantidad de agregados para el diseño de concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado.	68
Figura 19. Cantidad de agregados para el diseño de concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.	68

Figura 20. Corrección de agua de mezclado para el diseño de concreto convencional.....	69
Figura 21. Corrección de agua de mezclado para el diseño de concreto con sustitución del 10% de cemento con hueso bovino calcinado.	70
Figura 22. Corrección de agua de mezclado para el diseño de concreto con sustitución del 15% de cemento con hueso bovino calcinado.	70
Figura 23. Dosificación de 1m ³ de mezcla de concreto convencional.	71
Figura 24. Dosificación de 1m ³ de mezcla de concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado.	72
Figura 25. Dosificación de 1m ³ de mezcla de concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.	72
Figura 26. Volumen total en litros de mezcla de concreto necesaria.....	73
Figura 27. Dosificación de 17 Litros de mezcla de concreto convencional.....	74
Figura 28. Dosificación de 17 Litros de mezcla de concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado.	74
Figura 29. Dosificación de 17 Litros de mezcla de concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.	75
Figura 30. Asentamiento registrado para cada tanda de concreto convencional.....	76
Figura 31. Asentamiento registrado para cada tanda de concreto con sustitución del 10% de hueso bovino calcinado por cemento.	76
Figura 32. Asentamiento registrado para cada tanda de concreto con sustitución del 15% de hueso bovino calcinado por cemento.	77
Figura 33. Resultados registrados de Resistencia a la Compresión de la mezcla de concreto convencional.	78

Figura 34. Resultados registrados de Resistencia a la Compresión de la mezcla de concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado.	79
Figura 35. Resultados registrados de Resistencia a la Compresión de la mezcla de concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.	80
Figura 36. Registros fotográficos de los especímenes de concreto convencional después de ensayo a compresión.	81
Figura 37. Registros fotográficos de los especímenes de concreto con reemplazo del 10% de cemento con hueso bovino calcinado.....	82
Figura 38. Registros fotográficos de los especímenes de concreto con reemplazo del 15% de cemento con hueso bovino calcinado.....	83
Figura 39. Límites granulométricos del Agregado Fino.	85
Figura 40. Límites granulométricos del Agregado Grueso.....	85
Figura 41. Límites granulométricos del Agregado Grueso.....	86
Figura 42. Requerimientos de dureza en especificación INVIAS 2022.	87
Figura 43. Requerimientos de dureza en especificación IDU 2018.	87
Figura 44. Requerimientos de la geometría de las partículas en la especificación INVIAS 2022.	88
Figura 45. Requerimientos de la geometría de las partículas en la especificación IDU 2018.	88
Figura 46. Asentamientos determinados para cada tanda de mezcla en el concreto convencional.	90
Figura 47. Asentamientos determinados para cada tanda de mezcla en el concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado.....	91
Figura 48. Asentamientos determinados para cada tanda de mezcla en el concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.....	91

Figura 49. Asentamientos determinados para cada tipo de estructura, sistema de colocación y sistema de vibrado.	92
Figura 50. Tanque de almacenamiento de agua para especímenes de concreto existente en la Universidad La Gran Colombia.....	93
Figura 51. Registro de temperatura en el tanque de almacenamiento de agua para especímenes de concreto existente en la Universidad La Gran Colombia.....	94
Figura 52. Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto convencional con asentamiento de 3"	95
Figura 53. Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto convencional con asentamiento de 5.5"	96
Figura 54. Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto convencional con asentamiento de 7"	97
Figura 55. Valores promedio de Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) de la mezcla de concreto convencional.....	98
Figura 56. Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado y asentamiento de 6"99	99
Figura 57. Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado y asentamiento de 7" ...	100
Figura 58. Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado y asentamiento de 8" ...	101
Figura 59. Valores promedio de la Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado.	102

Figura 60. Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado y asentamiento de 5.8".

..... 103

Figura 61. Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado y asentamiento de 6.9".

..... 104

Figura 62. Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado y asentamiento de 7.6".

..... 105

Figura 63. Valores promedio de la Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.

..... 106

Figura 64. Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 28 días en el concreto convencional.

..... 108

Figura 65. Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 35 días en el concreto convencional.

..... 108

Figura 66. Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 42 días en el concreto convencional.

..... 109

Figura 67. Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 28 días en el concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado. 109

Figura 68. Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 35 días en el concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado. 110

Figura 69. Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 42 días en el concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado.....	110
Figura 70. Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 28 días en el concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.....	111
Figura 71. Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 35 días en el concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.....	111
Figura 72. Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 42 días en el concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.....	112
Figura 73. Estándares para el grado de control de calidad sobre concretos con $f'c < 34.5$ MPa.....	113
Figura 74. Cantidad de concreto premezclado producido en el país del mes de Julio de 2022 al Julio de 2025.	114
Figura 75. Análisis de Precios Unitarios (APU) para 1m ³ de concreto sustituido con el 10% de hueso bovino calcinado por el cemento.....	115
Figura 76. Cotización de Concreto Convencional de 3000 PSI de grava fina elaborado por la compañía Concremóvil.	116
Figura 77. Resultados de resistencia a la compresión.	120

Lista de Tablas

Tabla 1. Normativa vigente usada para agregados en la mezcla de concreto.	30
Tabla 2. Normativa vigente para caracterizar el cemento hidráulico y la mezcla de hueso bovino y cemento.	33
Tabla 3. Normativa para el control de calidad de la mezcla de concreto.	34
Tabla 4. Contenido de material cementante según el porcentaje de reemplazo.	41
Tabla 5. Cantidad de cilindros elaborados y edades de ensayo.	43
Tabla 6. Variable independiente: Sustitución parcial del cemento.	45
Tabla 7. Variable dependiente 1: Concreto fresco – Trabajabilidad.	45
Tabla 8. Variable dependiente 2: Resistencia a la compresión.	46
Tabla 9. Variable dependiente 3: Densidad aparente.	46
Tabla 10. Variable dependiente 4: Resistencia relativa.	47
Tabla 11. Variable dependiente 5: Tasa de desarrollo.	47
Tabla 12. Variable dependiente 6: Trabajabilidad relativa.	48
Tabla 13. Variable dependiente 7: Densidad relativa.	48
Tabla 14. Porcentaje de humedad determinado para el Agregado Fino.	49
Tabla 15. Porcentaje de humedad determinado para el Agregado Grueso.	50
Tabla 16. Resultados de los ensayos de limpieza en el Agregado Fino.	52
Tabla 17. Resultados de los ensayos de dureza en el Agregado Grueso.	53
Tabla 18. Resultados de los ensayos para la caracterización geométrica de las partículas del Agregado Grueso.	55
Tabla 19. Resultados de los ensayos de densidad de los Agregados Finos y Gruesos.	57
Tabla 20. Resultados de las Masas Unitarias de los Agregados Finos y Gruesos.	58
Tabla 21. Densidad del cemento registrada.	59

Tabla 22. Densidad del hueso bovino calcinado.....	59
Tabla 23. Densidades del cemento + hueso bovino calcinado al 10% y 15%.....	60
Tabla 24. Variable independiente: Sustitución parcial del cemento.....	118

Lista de Anexos

Anexo A. Informes de Resultados de Laboratorio del Agregado Grueso.....	129
Anexo B. Informes de Resultados de Laboratorio del Agregado Fino.....	136
Anexo C. Informe de Resultado de Laboratorio del Cemento.....	141
Anexo D. Informe de Resultado de Laboratorio del Cemento con adición de Hueso Bovino Calcinado.....	142
Anexo E. Informe de Resultado de Laboratorio del Hueso Bovino Calcinado.....	143
Anexo F. Informe de Diseño de Mezcla de Concreto Convencional.....	144
Anexo G. Informe de Diseño de Mezcla de Concreto con Sustitución del 10% de Cemento por Hueso Bovino Calcinado.....	149
Anexo H. Informe de Diseño de Mezcla de Concreto con Sustitución del 15% de Cemento por Hueso Bovino Calcinado.....	154
Anexo I. Registro Fotográfico de la Investigación.....	159

Resumen

Este estudio nace del deseo de encontrar nuevas formas de construir sin dejar huellas tan profundas en el planeta. En él se analiza el uso del hueso bovino calcinado como sustituto parcial del cemento en mezclas de concreto convencional de 21 MPa, buscando una alternativa que, además de resistente, sea respetuosa con el entorno. La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental basado en las normas NTC, INVIAS y NSR-10, empleando reemplazos del 10 % y 15 % de cemento para compararlos con una mezcla patrón. Los resultados revelaron que, tras un riguroso proceso de limpieza, calcinación y molienda, el hueso bovino adquiere propiedades puzolánicas capaces de aportar resistencia a la compresión sin comprometer la trabajabilidad del concreto. Más allá de lo técnico, este hallazgo muestra cómo un residuo orgánico puede transformarse en una oportunidad, integrándose en la economía circular y promoviendo un uso más responsable de los recursos. En conjunto, el trabajo representa una invitación a mirar la construcción desde una perspectiva más humana y sostenible.

Palabras clave: Concreto sostenible, hueso bovino calcinado, diseño de mezclas de concreto, sustitución parcial de cemento, resistencia a la compresión, economía circular.

Abstract

This research stems from the pursuit of new ways to build without leaving such a heavy footprint on the planet. It analyzes the use of calcined bovine bone as a partial replacement for cement in conventional 21 MPa concrete mixtures, seeking an alternative that is both durable and environmentally conscious. The study followed an experimental approach aligned with NTC and INVIAS standards, testing 10 % and 15 % cement replacements against a control mix. Results revealed that, after a careful process of cleaning, calcination, and grinding, bovine bone develops pozzolanic properties that improve compressive strength without compromising concrete workability. Beyond the technical aspects, this finding highlights how an organic waste can be reimagined as an opportunity—integrating into the circular economy and fostering a more responsible use of materials. Altogether, this work invites us to see construction through a more human and sustainable lens.

Keywords: Sustainable concrete, calcined bovine bone, partial cement replacement, concrete mix design, compressive strength, circular economy.

INTRODUCCIÓN

Cuando empezamos este proyecto, no imaginábamos que el concreto —ese material tan cotidiano en calles, edificios y puentes— escondía un lado que casi nadie ve: el ambiental. Fabricar cemento, su ingrediente principal, demanda enormes cantidades de energía y libera tanto CO₂ que la construcción se convierte en uno de los sectores más contaminantes (Matallana, 2019). En medio de esa realidad, surgió nuestra curiosidad: ¿y si algo tan inesperado como el hueso bovino pudiera ser parte de la solución? De ahí nació la idea de probarlo, calcinado, como sustituto parcial del cemento. Al principio sonaba extraño, casi impensable, pero justo por eso nos atrapó: porque lo diferente es lo que abre camino. Para una sociedad que cada día se confunde más, en lo contaminante y que no despierta conciencia de que debe haber una constante, en cómo mantener medios sostenibles.

Esta investigación importa porque, mientras muchos hablan de sostenibilidad, pocos la bajan al terreno real (Sánchez, 2001). Queríamos mostrar que un desecho, el mismo que suele acabar en botaderos, puede tener una segunda vida dentro de un material que usamos a diario. Imagínelo: una columna, una placa o un muro que no solo sostiene una estructura, sino también una idea de economía circular (Vaca Rumiguano, 2024). Así reducimos el consumo de recursos y damos valor a lo que antes se consideraba basura. De manera que, si estos proyectos se avalan, estamos contribuyendo al surgimiento de ideas ecológicas, económicas y culturales.

Al revisar trabajos anteriores, vimos que casi todos apuntaban a reemplazos con cenizas o subproductos industriales, pero casi ninguno se detenía en el hueso bovino. Y cuando lo hacían, quedaban en lo teórico o probaban con porcentajes mínimos (Guarniz & Vásquez, 2024; Pedraza et al., 2017). Nosotros quisimos ir más allá: experimentamos con distintas edades de curado y lo comparamos directamente con un concreto convencional de 21 MPa, siguiendo las normas técnicas colombianas

(Norma Técnica Colombiana [NTC]; Instituto Nacional de Vías [INVIAS], 2013; Norma Sismo Resistente, NSR-10). Queríamos que nuestros resultados hablaran el mismo idioma que se usa en obra, no solo en los libros.

A diferencia de otros estudios, no nos quedamos encerrados en el laboratorio. Conectamos la parte técnica con una realidad ambiental que vemos todos los días. Colombia genera toneladas de residuos óseos bovinos, y muy poco se hace con ellos (CONPES, 2020). Descubrimos que, tras un buen proceso de limpieza, calcinación y molienda, el hueso puede comportarse como un material puzolánico capaz de mejorar la resistencia del concreto en ciertas proporciones (Rodríguez & Goenaga, 2022). Y eso, créanme, emociona.

Más que números o tablas, este trabajo deja una manera distinta de mirar los materiales. Apostamos por una visión que combina ciencia, sostenibilidad y sentido común. Nuestro aporte al conocimiento no es solo técnico: es una invitación a imaginar un concreto que respire con el planeta. No pretendemos reemplazar el cemento, pero sí dejar la semilla de una construcción más limpia, donde los residuos —si los observamos con otros ojos— puedan transformarse en oportunidades.

OBJETIVOS

Objetivo General

Este proyecto no solo buscó evaluar una fórmula de concreto, sino entender, paso a paso, cómo responde el material cuando una parte esencial de su composición —el cemento— es reemplazada por hueso bovino calcinado. La intención fue observar de forma detallada la evolución de su resistencia a la compresión, comparándola con la de un concreto convencional de 21 MPa. En otras palabras, esta investigación se propuso descubrir, a través de un proceso ordenado y coherente, si este material alternativo podía convertirse en una opción técnica y sostenible dentro del ámbito constructivo.

Objetivos Específicos

1. Preparar la materia prima: Recolectar, limpiar y calcinar el hueso bovino para obtener un material purificado, listo para incorporarse en una mezcla de concreto.
2. Caracterizar los materiales: Describir las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los agregados, el cemento y el hueso calcinado, aplicando los ensayos normalizados por INVIAS y NTC, para asegurar su compatibilidad y calidad.
3. Diseñar las mezclas de concreto: Aplicar las metodologías ACI, Fuller y Road Note Laboratory para definir las proporciones adecuadas del concreto convencional y modificado, buscando mantener la coherencia entre desempeño y manejabilidad.
4. Elaborar y curar los especímenes: Moldear los cilindros de concreto de cada diseño y mantenerlos en curado controlado, asegurando resultados consistentes.
5. Realizar los ensayos de compresión: Probar la resistencia del concreto a distintas edades de curado, analizando el efecto del reemplazo parcial del cemento.

6. Analizar el comportamiento del hueso calcinado: Evaluar su desempeño al combinarse parcialmente con el cemento en proporciones del 10% y 15%, identificando su efecto en la trabajabilidad y resistencia del concreto.
7. Analizar e interpretar los resultados: Examinar los datos obtenidos desde una perspectiva crítica, comparando los valores entre las mezclas modificadas y el concreto patrón para determinar tendencias, ventajas y limitaciones.
8. Proponer recomendaciones: Formular sugerencias aplicables a futuros estudios o procesos industriales, valorando la viabilidad técnica, ambiental y económica del uso del hueso bovino calcinado como sustituto parcial del cemento.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Planteamiento y pregunta problema

Hoy en día hablar de construcción no es solo pensar en edificios y carreteras, también es pensar en el impacto que dejamos en el ambiente. El cemento Portland sigue siendo la base del concreto, pero pocas veces nos detenemos a mirar lo que cuesta producirlo: casi un 10% de las emisiones globales de CO₂ provienen de su fabricación. De hecho, Palomino-Guzmán et al. (2024) señalan que “la producción de cemento Portland es responsable de aproximadamente el 10% de las emisiones globales de CO₂” (p. 2). Esto quiere decir que cada saco de cemento no solo trae consigo una obra, también carga con una huella que afecta la calidad de vida de todos.

La NSR-10 nos recuerda que construir no es únicamente levantar estructuras seguras, también es hacerlo de manera más responsable con el ambiente. Y si a eso sumamos la presión social para reducir emisiones, el reto es aún mayor. Pero no es lo único: los desechos de la industria cárnica, como los huesos bovinos, son un problema cuando se tiran sin control, porque contaminan suelos y aguas. Granda (2023) advierte que esta mala disposición genera riesgos sanitarios y ambientales que no podemos ignorar.

Es de resaltar que, cuando estos huesos se calcinan, concentran óxido de calcio (CaO), un componente esencial del Clinker del cemento (Guarniz & Vásquez, 2022). Es decir, lo que normalmente veríamos como basura puede convertirse en un recurso útil para la construcción. El detalle está en que, aunque existen algunos estudios previos, aún no se sabe con claridad cómo se comporta un concreto de 3000 psi cuando reemplazamos entre un 10% y un 15% del cemento con cenizas de hueso bovino. Esa es la pregunta que nos mueve y que queremos responder: ¿será posible que este sustituto logre cumplir con las exigencias de resistencia y sostenibilidad que pide la normativa colombiana?

Justificación

Hablar de concreto siempre nos lleva a pensar que es un tema repetido, pero basta con ver el impacto ambiental del cemento Portland para entender que todavía queda mucho por hacer. Su producción, base de la mayoría de las obras, sigue estando entre las principales fuentes de CO₂ en el mundo (Vaca Rumiguano, 2024). Con este panorama, es lógico que busquemos alternativas, y en ese camino las cenizas de hueso bovino aparecen como una opción interesante y con mucho por explorar.

En nuestro trabajo no quisimos ver esas cenizas solo como un desecho, sino como una oportunidad. Su alto contenido de CaO permite que se comporten de manera parecida a otras adiciones minerales que ya se usan en el concreto (Guarniz & Vásquez, 2022). En pocas palabras, lo que se tiraba, ahora puede transformarse en un material con valor para la construcción. Matallana (2019) lo deja claro: la dosificación de los materiales es fundamental, porque hasta los cambios más pequeños en la mezcla afectan directamente la resistencia y la trabajabilidad.

Lo que vimos en laboratorio nos confirmó que el 10% y el 15% son puntos clave. Con el 10% se alcanzó la resistencia objetivo de 3000 psi, mientras que con el 15% no se logró, aunque sí mostró que puede usarse en concretos de menor exigencia. Esto abre un abanico de aplicaciones distintas, como andenes, muros de cerramiento o pisos de tráfico liviano, y demuestra que la sostenibilidad no está reñida con la utilidad práctica.

Así, la justificación de este proyecto no se queda en lo académico. Tiene un impacto ambiental al reducir residuos y emisiones; un aporte técnico al comprobar el desempeño real de un material distinto; y un valor social al proponer un modelo de economía circular. Sánchez de Guzmán (2011) lo resume: el concreto siempre está en transformación, y depende de nosotros cómo aprovechar sus componentes para responder a nuevos retos.

Queremos que este estudio sirva de base para las próximas generaciones, que lo tomen como referencia al momento de proponer soluciones sostenibles en beneficio de las comunidades. Es un llamado a reflexionar que los recursos están a nuestro alcance y que, si cambiamos la forma de pensar, podemos darles un uso real y mantenernos al día con las necesidades del mundo actual. Cada paso hacia la sostenibilidad debe hacerse parte de la vida cotidiana. Si esta investigación resulta viable, aportará a la ingeniería civil nuevas rutas de trabajo en equipo y de integración entre disciplinas. Y, sobre todo, nos deja claro que esta carrera tiene la capacidad de mejorar la calidad de vida, avanzando hacia una construcción sostenible sin dejar atrás la seguridad estructural, como lo señalan las normas colombianas (INVIAS, NTC, NSR-10, IDU).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Hablar de usar huesos y residuos en el concreto ya no es una idea tan rara, se ha venido convirtiendo en una opción que llama la atención porque toca dos puntos claves: el cuidado del ambiente y el buen uso de los recursos. En la Universidad Piloto de Colombia hicieron ensayos con hueso bovino calcinado y al cambiar entre un 10% y un 15% del cemento notaron que la resistencia inicial mejoraba bastante (Pedraza, Rivera & Velásquez, 2017). Como estudiante, uno empieza a ver que los residuos orgánicos no son simples desechos, pueden tener un papel real en la mezcla del concreto.

Luego aparecieron más trabajos que ampliaron la mirada. No solo se quedó en el hueso bovino, también se probó con hueso porcino, cáscara de arroz, bagazo de caña y hasta cenizas de otros residuos agrícolas. La meta no era solo revisar si aguantaba bien el concreto, sino ver cómo se podía bajar la huella de carbono del cemento. Palomino-Guzmán, González-López, Olmedo-Montoya, Sánchez-Echeverri y Tovar-Perilla (2024) demostraron que con estas mezclas de hueso bovino y porcino se alcanzaban resistencias mayores a 21 MPa y al mismo tiempo se mantenía un rumbo sostenible.

En esa misma línea, Ardila y Echeverry (2018) trabajaron con hueso triturado en lugar de agregado grueso, y aunque la densidad y la curva esfuerzo-deformación cambiaron, la resistencia no se perdió en niveles críticos. Algo parecido se vio en la Universidad de la Costa, donde Rodríguez y Goenaga (2022) reemplazaron parte del agregado fino en morteros y comprobaron que con un 2%–4% de sustitución la resistencia seguía siendo competitiva. Y en Perú, Guarniz y Vásquez (2024) analizaron la sustitución parcial del cemento con hueso bovino calcinado, encontrando diferencias en el asentamiento y en la resistencia, lo que aporta tanto en lo técnico como en la discusión académica sobre si este tipo de materiales realmente puede funcionar en obra.

Estos antecedentes no se quedan en enumerar datos, sino que nos muestran que cada ensayo abre preguntas sobre la durabilidad, la manejabilidad y la sostenibilidad del concreto. Como investigador en formación, uno entiende que hay un camino trazado, pero también un espacio enorme para seguir explorando. Es ahí donde este trabajo se enlaza con lo ya hecho y busca aportar nuevas respuestas, manteniendo la coherencia entre la parte experimental y el análisis teórico que lo sostiene.

2.2. Base Teórica

El concreto se entiende como un material compuesto, pero cuando uno empieza a estudiar el concreto, lo primero que descubre es que no es solo mezclar arena, agua y cemento, sino que hay toda una interacción química que explica su resistencia y su durabilidad. En la teoría de materiales se habla mucho que el óxido de calcio, porque es el que activa la hidratación del cemento y ayuda a que se formen compuestos que le dan rigidez al concreto (Matallana, 2019). Neville (2011) también lo explica de manera clara, diciendo que estas reacciones químicas son las que justifican por qué el concreto gana fuerza con los días. De ahí surge la lógica de mirar al hueso bovino calcinado, que tiene bastante contenido de calcio y que puede jugar como un refuerzo químico o incluso como una puzolana secundaria (Pedraza et al., 2017).

Ya cuando se habla de mecánica de materiales, lo que más importa es la resistencia a la compresión, porque con esa medida uno puede predecir cómo se va a comportar la estructura. Y aquí la teoría ayuda a mirar cómo cambian la densidad, la porosidad o la microestructura del concreto al sustituir parte del cemento por hueso calcinado. Autores como Matallana (2019) o el American Concrete Institute (2002) han marcado que no es solo resistencia pura, sino cómo se transforma la curva esfuerzo–deformación y, en palabras sencillas, cómo se refleja eso en la realidad de una obra.

En cuanto al aspecto ambiental, la teoría del metabolismo social nos recuerda que la construcción no puede seguir consumiendo recursos no renovables sin control, y que los residuos deben

reingresar al ciclo productivo (González de Molina & Toledo, 2014). no solo es un experimento de laboratorio, también representa una apuesta por la sostenibilidad. Por eso la base teórica de este trabajo no se limita a fórmulas o cifras, sino que conecta lo fisicoquímico con lo ambiental, dejando claro que buscar materiales alternativos con menor impacto es una necesidad, no un lujo.

A manera de complemento, vale la pena mirar la composición típica del cemento Portland, porque a partir de esa composición se entiende por qué el hueso calcinado tiene sentido como sustituto parcial. La Figura 1, tomada de Matallana (2019), muestra los principales compuestos presentes en el cemento expresados en forma de óxidos y con sus rangos aproximados. Se observa que la cal (CaO) domina con porcentajes entre 60% y 67%, seguida por sílice, alúmina y otros compuestos menores. El hecho de que la cal sea el componente principal explica la viabilidad de reforzar la matriz con materiales que aporten calcio, como el hueso bovino calcinado.

Figura 1.

Composición química aproximada del cemento Portland.

Compuesto	Como óxido	Límites aproximados (%)
Cal	CaO	60 a 67
Sílice	SiO_2	17 a 25
Alúmina	Al_2O_3	3 a 8
Óxido de hierro	Fe_2O_3	0,5 a 6
Óxido de magnesio	MgO	0,5 a 4
Álcalis	$\text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}$	0,3 a 1,2
Anhídrido sulfúrico ^A	SO_3	2 a 3,5

Nota. La tabla muestra los compuestos principales del cemento Portland en forma de óxidos, destacando la cal (CaO) como el mayor componente con más del 60%, seguida por sílice, alúmina y pequeñas proporciones de otros óxidos que influyen en las

propiedades finales del concreto. Tomado de Matallana (2019). El Concreto: Fundamentos y Nuevas Tecnologías. Pág. 32. [sitio web]. Recuperado de <https://share.google/JPVO4LkqueuOjOgDb>

2.3. Definición de términos Básicos

1. Concreto: Es una mezcla simple a la vista, pero con mucha ciencia detrás. Se compone de cemento, agua y agregados finos y gruesos; cuando fragua y endurece, logra la resistencia y durabilidad que la vuelven la base de casi toda obra civil (Matallana, 2019; Neville, 2011). Si se compara, el concreto es como el esqueleto de una estructura: discreto, pero esencial.
2. Resistencia a la compresión: Es la capacidad del concreto para soportar esfuerzos sin romperse, el indicador principal para evaluar su calidad (American Concrete Institute [ACI], 2002). En pocas palabras, es la forma más directa de saber si un concreto es fuerte y confiable.
3. Puzolana: Es un material que, al combinarse con el cemento y el agua, reacciona con el hidróxido de calcio y genera compuestos que aumentan la resistencia del concreto. Podría decirse que actúa como un refuerzo adicional que mejora su desempeño (Pedraza et al., 2017).
4. Hueso bovino calcinado: Se obtiene al someter los huesos de ganado vacuno a altas temperaturas, entre 600 °C y 1200 °C, hasta que se transforman en un polvo rico en óxido de calcio (Guarniz & Vásquez, 2024). Aunque parece un simple residuo, aporta calcio que puede fortalecer la mezcla.
5. Sustentabilidad en la construcción: Es la manera de pensar y actuar en la construcción para reducir su impacto ambiental, aprovechando mejor los recursos, reciclando materiales y bajando las emisiones de CO₂ (Palomino-Guzmán et al., 2024). En esencia, busca que la ingeniería contribuya a cuidar el planeta.

2.4. Orientación del Marco Teórico

Este marco teórico es la base que guía toda la investigación, el punto donde se juntan las ideas, teorías y dudas que le dan sentido al trabajo. Sirve para no perder el rumbo cuando llegue el momento de analizar los resultados y para tener claro por qué se investiga lo que se investiga. Más que un conjunto de definiciones es una brújula que apunta hacia la sostenibilidad y el entendimiento del comportamiento del concreto con el hueso bovino calcinado.

A veces, entre tantas fórmulas y ensayos, uno se olvida de que detrás de cada cifra hay una historia material. Este marco ayuda justamente a eso: a entender, a explicar y a predecir los cambios del concreto cuando se le introduce un componente nuevo. Pero también abre el espacio para hacerse preguntas, para reflexionar sobre qué tanto duran las mezclas o cómo se comportan con el paso del tiempo. En el fondo, lo que propone es seguir explorando, seguir buscando respuestas y no quedarse con lo establecido, porque la construcción —como el concreto— siempre está en proceso de fraguado.

CAPÍTULO III: MARCO NORMATIVO

Llevar a cabo investigaciones con parámetros técnico y teóricos tan determinantes, es indispensable alinear normas vigentes (INVIAS y NTC) que permitan definir características físicas, químicas y mecánicas que fundamenten el objetivo principal del presente trabajo. Para llevar a cabo tan riguroso estudio se requirieron las siguientes 4 directrices normativas las cuales corresponden a 4 de los principales componentes de una mezcla de concreto (Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3).

Tabla 1.

Normativa vigente usada para agregados en la mezcla de concreto.

NORMA	TÍTULO	DESCRIPCIÓN
INV E-201-13	Muestreo de agregados para construcción de carreteras	Esta norma se refiere al muestreo que se debe realizar en agregados grueso y finos para inspeccionar el material usado y su respectiva cantidad para la respectiva realización de ensayos de caracterización.
INV E-202-13	Reducción de muestras de agregados por cuarteo	Establece los mecanismos para reducir muestras de agregados finos y gruesos en tamaños apropiados para realizar los respectivos ensayos de caracterización.
INV E-122-13	Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado	Permite determinar el contenido de agua (humedad) presente dentro de un material.
INV E-125-13	Determinación del Límite Líquido, el Límite Plástico y el	Permite determinar la consistencia del suelo en

INV E-126-13	Índice de Plasticidad de los suelos	función de su contenido de agua, según el límite líquido que separa el estado plástico del semilíquido y el límite plástico que separa el estado semisólido del plástico.
INV E-133-13	Equivalente de arena de suelos y agregados finos	Establece las proporciones entre material arcillo y arena presente en una mezcla de suelo.
INV E-213-13	Análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos	Cuantifica la distribución de los tamaños de las partículas presentes en mezclas de agregados gruesos y finos.
INV E-214-13	Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 μm (N°200) en los agregados pétreos mediante lavado	Proporciona la cantidad de material fino (limo y/o arcilla) que pasa el tamiz de 75 μm (N°200), presente en un agregado de origen pétreo.
INV E-217-13	Densidad bulk (Peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto	Método de ensayo que permite determinar la relación entre la masa seca de un agregado grueso y fino, y el volumen total que ocupan las partículas en un volumen conocido incluyendo cada uno de los vacíos en estado suelto y en estado compacto.
INV E-218-13	Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½") por medio de la Máquina de los Ángeles	Procedimiento que permite medir la resistencia a la degradación de un agregado de tamaño menor a 37.5 mm (1 ½") sometido a una carga abrasiva en la Máquina de los Ángeles.

INV E-222-13	Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino	Ensayo que permite conocer los 3 tipos de densidad de un agregado fino (seco al horno, en estado saturado superficialmente seco y aparente), su respectiva gravedad específica en los anteriores 3 estados y su capacidad de absorción.
INV E-223-13	Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso	Ensayo que permite conocer los 3 tipos de densidad de un agregado grueso (seco al horno, en estado saturado superficialmente seco y aparente), su respectiva gravedad específica en los anteriores 3 estados y su capacidad de absorción.
INV E-227-13	Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso	Este método de ensayo permite determinar las características geométricas de un agregado grueso bajo la metodología del número de caras fracturadas que presentan las partículas dentro de un agregado pétreo.
INV E-230-13	Índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras	Determina en porcentaje la cantidad de partículas que presentan geométricamente formas alargadas y aplanadas en un agregado grueso
INV E-238-13	Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato Micro-Deval	Establecer mediante sometimiento a condiciones críticas de un agregado grueso, su resistencia a la degradación por medio de una carga

NTC 174:2018	Concretos. Especificación de los agregados para concreto	abrasiva en el equipo Micro-Deval. Esta especificación permite controlar y garantizar los parámetros de gradación y calidad de los agregados gruesos y finos utilizados para mezclas de concreto.
--------------	--	---

Nota. Elaboración Propia. Adaptada de INVIAS. (2013). Normas de ensayo para materiales de carretera; ICONTEC. (2018).

Normas Técnicas Colombianas. República de Colombia.

Caracterizando física y mecánicamente los agregados que se desean usar en la mezcla de concreto, el siguiente compuesto que es indispensable conocer sus propiedades es el cemento, el cual, para llevar a cabo de manera adecuada el presente estudio es necesario determinar el siguiente parámetro. Cabe resaltar que, al buscar en la presente investigación realizar una sustitución parcial del cemento con hueso bovino calcinado, caracterizar esta mezcla también se rige bajo las siguientes normativas.

Tabla 2.

Normativa vigente para caracterizar el cemento hidráulico y la mezcla de hueso bovino y cemento.

NORMA	TÍTULO	DESCRIPCIÓN
NTC 221:2019	Cementos. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico	Establece el procedimiento, equipos y cálculos para determinar la densidad del cemento usado para mezclas de concreto.
NTC 121:2023	Especificación de desempeño para cemento hidráulico	Caracteriza y determina las variables que se deben controlar en la calidad de un

cemento hidráulico según los tipos existentes de estos.

Nota. Elaboración Propia. Adaptada de ICONTEC. (2018). Normas Técnicas Colombianas. República de Colombia.

Los anteriores conceptos normativos deben ir en paralelo con controles de calidad en un producto terminado, que, para este caso, contempla aspectos técnicos que permitan determinar las variables de diseño de la mezcla de concreto, los cuales se rigen bajo las siguientes normativas vigentes.

Tabla 3.

Normativa para el control de calidad de la mezcla de concreto.

NORMA	TÍTULO	DESCRIPCIÓN
NTC 396:2024	Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto	Este ensayo permita determinar la fluidez de una mezcla de concreto para comparar el resultado con respecto a un valor de diseño.
NTC 550:2020	Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en el sitio de trabajo	Establece los procedimientos para la elaboración y el debido curado de muestras cilíndricas y prismáticas de concreto fresco.
NTC 3512:2022	Cuartos de mezclado, cámaras y cuartos húmedos y tanques para el almacenamiento de agua, empleados en los ensayos de cementos hidráulicos y concretos	Determina los criterios que se deben tener en cuenta para la implementación de cuartos y tanques de mezclado y almacenamiento de cementos y mezclas de concreto para su debido curado.
NTC 673:2021	Concretos. Método de ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto	Abarca el proceso, los equipos y los cálculos para determinar la resistencia a la compresión de cilindros de concreto moldeado en laboratorio y/o campo, así

como de núcleos extraídos “in situ”.

Nota. Elaboración Propia. Adaptada de ICONTEC. (2018). Normas Técnicas Colombianas. República de Colombia.

Los anteriores aspectos normativos son fundamentales para la ejecución técnica y la debida interpretación de los resultados obtenidos en el presente trabajo, los cuales contaron con lo más altos estándares de calidad durante cada fase de ejecución.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

La metodología que guio este trabajo se fue tejiendo con paciencia, siempre pensando en el contexto colombiano y en la forma real en que se trabaja dentro de la práctica profesional. Desde el principio tuvimos claro que queríamos que todo se ajustara a las normas del país, por eso nos apoyamos en las especificaciones del Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2013) y en las Normas Técnicas Colombianas (NTC) relacionadas con el concreto. Este enfoque nos pareció más coherente, porque reflejaba la manera en que los materiales son diseñados, ensayados y controlados en nuestro entorno. Aun así, también exploramos otras miradas: las metodologías de Fuller–Thompson, el American Concrete Institute (ACI) y el Road Note Laboratory, que nos sirvieron como guía adicional para comparar y dosificar, un poco como quien consulta diferentes mapas antes de emprender un mismo camino.

Más que una lista de pasos fríos, nuestra metodología fue un recorrido que se fue construyendo poco a poco, casi como una obra en proceso. Al comienzo nos hicimos dos preguntas muy simples, pero fundamentales: ¿cómo queríamos realizar la investigación? y ¿qué sentido le íbamos a dar para mantener la coherencia con nuestro objetivo? A partir de ahí, dividimos el proceso en fases que nos ayudaron a mantener el rumbo y entender por qué tomábamos cada decisión. Cada etapa fue un aprendizaje, un avance, y a veces un pequeño reto: desde preparar y caracterizar los materiales, hasta mezclar, moldear y observar con atención los resultados de resistencia.

En el fondo, el diseño metodológico no fue una estructura rígida, sino una experiencia viva que creció con cada ensayo en el laboratorio y con cada revisión de norma. Así, poco a poco, logramos construir una metodología clara y confiable, sustentada tanto en el rigor académico como en la realidad constructiva que nos rodea.

4.1. Enfoque

Decidimos que el enfoque fuera experimental y cuantitativo, porque nuestro objetivo era ver con números y ensayos de laboratorio cómo se comportaba el concreto cuando le quitamos un poco de cemento y lo reemplazamos con cenizas de hueso bovino. Siempre tuvimos en mente la parte de la sostenibilidad, ya que este material además de ser un desecho podía servir para reducir un poco el impacto del cemento y con ello ayudar a bajar las emisiones de CO₂, lo cual representa un beneficio ambiental directo para todos (Matallana, 2019; Sánchez de Guzmán, 2011).

4.2. Alcance

Nos concentramos en concretos de 3000 psi, pero también reconocimos que al 15% (es decir, cuando se reemplazó el 15% del peso del cemento Portland por ceniza de hueso bovino calcinado) los resultados no alcanzan ese nivel y más bien podrían aprovecharse en concretos de menor resistencia, porque es el más común en obras civiles de vivienda y estructuras básicas, y en el caso de mezclas con 15% de sustitución podrían destinarse a elementos no estructurales o de baja exigencia, como muros de cerramiento, andenes, pisos de tráfico liviano o estructuras secundarias. Hicimos reemplazos de 10% y 15% del cemento con ceniza de hueso bovino y los comparamos con un concreto guía. Medimos cómo se comportaban en estados fresco (trabajabilidad) y endurecido (compresión, módulo de elasticidad y densidad). No hicimos ensayos de durabilidad o aplicaciones en obra, porque el alcance era limitado a resultados de laboratorio.

4.3. Diseño

Aquí fue donde más tiempo nos tocó dedicar, porque fue el paso más largo y donde teníamos que estar más pendientes de cada detalle.

4.3.1. Recolección y preparación del hueso

Siguiendo la metodología de Ardila & Echeverry (2018, citado en la Universidad Piloto de Colombia), primero lavamos los huesos en agua hirviendo y después los dejamos en cloro para desinfectarlos, manteniéndolos el tiempo óptimo recomendado hasta estabilizar el pH de la muestra, tal como se aconseja en la tesis de la Universidad Piloto de Colombia, donde se sugiere este paso de cloración y un tiempo óptimo de manejo para garantizar la desinfección adecuada del hueso antes de la calcinación. Luego vino la etapa más exigente: la calcinación en horno a 900 °C durante 2 horas, con un reposo de 6 horas para que se enfriaran de manera controlada. Empezamos con 12.703 kg de hueso y después de calcinar nos quedaron 10.016 kg, es decir, una pérdida de masa de 21,31%. Luego lo trituramos en la máquina de Los Ángeles, con una pérdida aproximada del 14%, hasta terminar con 8.600 kg. Finalmente, todo pasó por el tamiz N°200 porque necesitábamos un polvo muy fino, casi como harina, que pudiera integrarse bien y desempeñarse de forma similar al cemento. Este procedimiento lo hicimos tomando como referencia lo que recomienda la Universidad Piloto de Colombia y las normas INVIAS (E-706).

4.3.2. Cemento

Se utilizó cemento de procedencia Argos, clasificado como tipo UG (Uso General) según la norma NTC 121. Durante los procesos de mezclado se observó que, debido a las condiciones de almacenamiento, el material presentaba signos de hidratación previa ocasionados por la humedad higroscópica. Esta condición puede afectar la trabajabilidad, ya que el cemento parcialmente hidratado tiende a absorber más agua de la mezcla, y también puede disminuir la resistencia final porque parte de los compuestos activos del Clinker ya reaccionaron antes de su uso en el concreto. Y claro, eso afecta: un cemento ya parcialmente hidratado pierde capacidad

y además pide más agua. Entonces lo mencionamos porque tuvimos que ajustar la mezcla para que esos problemas no alteraran los resultados.

4.3.3. Agregado grueso

En este caso lo importante era la resistencia y la forma de las piedras. El agregado grueso no contaba con una procedencia certificada, pero por su aspecto se determinó que provenía de un material sedimentario y que fue obtenido mediante trituración en cantera, lo cual se notaba en la forma irregular de las partículas. Le hicimos la prueba de abrasión con la Máquina de Los Ángeles (INVIAS E-702), granulometría (NTC 77 / INVIAS E-706), revisamos forma, textura, densidad, absorción (NTC 237 / INVIAS E-712) y masa unitaria (NTC 92 / INVIAS E-412). Este agregado es el que más aporta a la resistencia del concreto, así que conocer cuánto se desgasta, cuánta agua absorbe y cómo es su geometría nos permitió ajustar las proporciones en la mezcla y asegurar que tuviera buena resistencia y durabilidad.

4.3.4. Agregado fino

Aquí quisimos ser muy cuidadosos porque la arena define en gran parte cómo se maneja la mezcla. Le hicimos ensayos de humedad (NTC 1776 / INVIAS E-702), granulometría (NTC 77 / INVIAS E-706), limpieza (NTC 127 / INVIAS E-706), densidad y absorción (NTC 237 / INVIAS E-712) y masa unitaria (NTC 92 / INVIAS E-412). Más que cumplir con requisitos, nos permitió ver si estaba limpia, cuánta agua retenía y cómo eso iba a influir en el concreto. Esa información fue clave para ajustar el agua de mezclado y lograr que no quedara ni muy seco ni muy aguado. Además, el agregado fino no tenía una procedencia certificada, pero por su color y la forma de sus partículas se identificó como un material de origen aluvial, es decir, arena de río. Reconocer este origen es importante porque influye directamente en la trabajabilidad, la absorción de agua y la resistencia del concreto. Los agregados aluviales, al ser más redondeados y con una

composición mineral característica, pueden mejorar la manejabilidad de la mezcla y también modificar el diseño de dosificación que se adopta en laboratorio.

4.3.5. Diseño de mezclas

Con base en Matallana (2019) y Sánchez de Guzmán (2011), hicimos el diseño siguiendo NTC 673 e INVIAS E-412. Como dice Matallana (2019), “la correcta dosificación de materiales en el concreto debe garantizar tanto la resistencia esperada como la trabajabilidad de la mezcla” (p. 112). Sánchez de Guzmán (2011) también explica que la relación agua-material cementante es de lo más influyente.

4.3.5.1. Selección de asentamiento

Se definió un asentamiento objetivo de 100 mm (10 cm) medido con cono de Abrams, adecuado para mezclas bombeables y colocación “in situ” con buena manejabilidad (NTC 396 / INVIAS E-412).

4.3.5.2. Selección del tamaño máximo nominal (TMN) del agregado

A partir del análisis granulométrico se adoptó 12,7 mm (1/2") como TMN, de acuerdo con el criterio del tamiz inmediatamente superior con $\geq 15\%$ retenido acumulado (NTC 77 / guía de dosificación).

4.3.5.3. Estimación del contenido de aire

Se consideró aire naturalmente atrapado de 2,5%, dado que no se definió exposición severa ni incorporación de aditivos aireantes, y en coherencia con el TMN seleccionado (INVIAS E-412 / NTC 396).

4.3.5.4. Estimación del contenido de agua de mezclado

Se tomó el mayor de los dos métodos teóricos (fluidez–TMN–aire y textura–TMN–fluidez), resultando en 215 kg/m³ de agua. Este valor se ajustó posteriormente por

humedades reales de los agregados (NTC 673 / INVIAS E-412). Nota metodológica: se eligió el valor mayor porque garantizaba que la mezcla mantuviera la trabajabilidad requerida en condiciones reales de obra, incluso con las variaciones de humedad de los agregados.

4.3.5.5. Determinación de la resistencia de diseño

3000 psi (≈ 21 MPa) como valor objetivo de f'_c .

4.3.5.6. Selección de la relación agua–cementante (a/c)

Se adoptó 0,45 para equilibrar trabajabilidad y resistencia, considerando la demanda de agua de la mezcla con ceniza calcinada.

4.3.5.7. Cálculo del contenido cementante total

Se adoptó 0,45 para equilibrar trabajabilidad y resistencia, considerando la demanda de agua de la mezcla con ceniza calcinada.

4.3.5.8. Selección de la relación agua–cementante (a/c)

Por método de volumen absoluto, con $a/c = 0,45$ y $\text{agua} = 215 \text{ kg/m}^3$, el material cementante total es $\approx 478 \text{ kg/m}^3$.

Tabla 4.

Contenido de material cementante según el porcentaje de reemplazo.

Diseño	Cemento (kg/m^3)	Ceniza de hueso (kg/m^3)	Total (kg/m^3)
Control (0%)	478	0	478
Reemplazo 10%	430	48	478
Reemplazo 15%	406	72	478

Nota. La tabla resume el desglose del contenido cementante en los diferentes diseños, evidenciando cómo se mantiene constante el total de material cementante (478 kg/m^3) y se ajusta la proporción entre cemento Portland y ceniza de hueso

bovino. Esta presentación facilita visualizar la importancia de mantener el equilibrio volumétrico en todas las mezclas. Además, para efectos prácticos, la dosificación se diseñó inicialmente para 1 m³ de concreto, pero debido a la capacidad de la mezcladora de 20 litros, se realizaron tandas de 17 litros. Así se produjeron tres tandas en total, con las que se alcanzaron los 27 cilindros elaborados. Este ajuste fue necesario para compatibilizar el diseño teórico con las condiciones reales de laboratorio. Fuente propia.

4.3.5.9. Estimación de las proporciones de agregados

Se determinaron por volumen absoluto usando densidades y masas unitarias medidas en laboratorio, con optimización granulométrica (metodología de optimización granulométrica basada en Fuller–Thompson, recomendaciones del ACI y guías del Road Note Laboratory) para mejorar empaquetamiento y reducir vacíos (NTC 77 / INVIAS E-706).

4.3.5.10. Ajustes por humedad en los agregados

Se aplicaron correcciones de agua y masa seca a partir de los contenidos de humedad registrados. Convencional: arena 7,7% y grava 4,8%; Mezclas con sustitución (10% y 15%): arena 0,6% y grava 2,9%. Estas correcciones se reflejaron en el agua efectiva y en la condición SSD de los agregados (INVIAS E-122 / INVIAS E-412).

4.3.6. Fundición y curado de cilindros

De acuerdo con la NTC 1377 (numeral 4.5), se elaboró el número mínimo de cilindros por edad de ensayo. Sin embargo, aclaramos que en nuestro caso el número de probetas estuvo condicionado por la disponibilidad de moldes, lo que limitó a 27 el total de cilindros elaborados, distribuidos para alcanzar un mínimo de 9 por edad, aunque no se logró en todos los casos. Se moldearon cilindros de 15x30 cm y 4"x8" según NTC 550, con desencofrado a las 24 horas como lo establece la norma. Las probetas se curaron en agua de cal hasta las edades de ensayo y se observó que no presentaban olores residuales.

Tabla 5.

Cantidad de cilindros elaborados y edades de ensayo.

Edad (días)	Número de cilindros
7	3
14	3
28	7
42	7

Nota. La tabla muestra la distribución real de los 27 cilindros elaborados según la disponibilidad de moldes. Aunque la NTC 1377 (numeral 4.5) sugiere un mínimo de 9 por edad, en este estudio no se alcanzó dicho número en todas las edades debido a limitaciones logísticas. Aun así, se mantuvo un número suficiente para análisis comparativos de tendencia y validación de resultados. Fuente propia.

4.3.7. Ensayo de compresión de cilindros

Los ensayos se realizaron siguiendo la NTC 673 y la Especificación INVIAS E-412, utilizando una prensa hidráulica calibrada. Cada cilindro fue sometido a carga axial hasta la falla, registrando las cargas máximas y los modos de fractura observados.

Figura 2.

Prensa hidráulica para ensayo de compresión de cilindros.



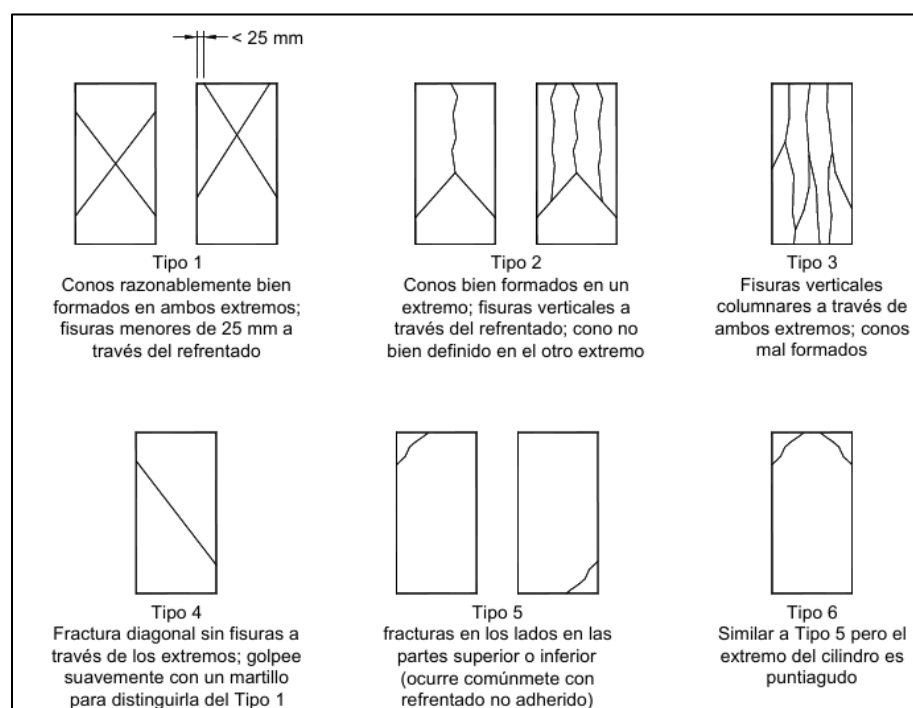
Nota. Contiene espécimen en ensayo de compresión en la prensa hidráulica. Fuente propia

4.3.8. Tipos de falla de los cilindros a compresión

Durante las pruebas se identificaron patrones de falla como el cono de compresión, la fisuración longitudinal y la falla por cortante. Estos modos de fractura coinciden con los descritos en la NTC 673 y en manuales técnicos de referencia. La Figura adjunta (Figura 3) muestra ejemplos de los tipos de falla evidenciados en laboratorio. Estas observaciones permitieron validar que el procedimiento aplicado se ajustó a lo exigido normativamente y aportan información relevante para la interpretación de los resultados posteriores.

Figura 3.

Esquemas de falla típicos en cilindros de concreto.



Nota. Contiene Esquema de falla típico en cilindro de concreto, para ensayo de compresión. Tomado de. ICONTEC. (2021).

Norma Técnica Colombiana (NTC) 676. Método de ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. República de Colombia.

4.4. Matriz de operacionalización

A continuación, se presenta la matriz de operacionalización en tablas individuales por variable, con definición conceptual, definición operacional, dimensiones, indicadores, escala de medición e instrumentos/norma.

Tabla 6.

Variable independiente: Sustitución parcial del cemento.

Variabilidad	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Instrumentos / Norma
Sustitución parcial del cemento	Proporción del cemento Portland reemplazada por cenizas de hueso bovino calcinado	Porcentaje en masa del cemento UG sustituido por ceniza (niveles: 0%, 10%, 15%)	Porcentaje de reemplazo	0%, 10%, 15%	Nominal (porcentual, niveles discretos)	Balanza de precisión; planilla de dosificación; NTC 121 / INVIAS E-4127

Nota. Incluye la variable con sus definiciones y medidas. Fuente propia con apoyo de normas colombianas específicas: NTC 121

/ INVIAS E-412.

Tabla 7.

Variable dependiente 1: Concreto fresco – Trabajabilidad.

Variabilidad	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Instrumentos / Norma
Dependiente	Capacidad de la mezcla para colocarse y consolidarse sin	Asentamiento medido con cono de Abrams inmediatamente tras el mezclado	Consistencia	Asentamiento (cm)	Razón	Cono de Abrams, varilla, regla; NTC 396 / INVIAS E-412; ref. ACI 211.1

segregación
ni exudación

Nota. Incluye el nivel de asentamiento del concreto fresco. Fuente propia con apoyo de normas colombianas específicas: NTC

396 / INVIAS E-412.

Tabla 8.

Variable dependiente 2: Resistencia a la compresión.

Variabilidad	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Instrumentos / Norma
Resistencia mecánica	Capacidad del concreto para soportar esfuerzos de compresión	f'c en cilindros 15×30 cm a 7, 14, 28 y 42 días de curado	Resistencia; edad de curado	f'c (MPa o psi)	Razón	Prensa hidráulica; NTC 673 / INVIAS E-412; curado NTC 550

Nota. Incluye los resultados de resistencia a la compresión en probetas cilíndricas. Fuente propia con apoyo de NTC 673 e

INVIAS E-412. El curado se realizó según NTC 550.

Tabla 9.

Variable dependiente 3: Densidad aparente.

Variabilidad	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Instrumentos / Norma
Relación masa–volumen	Peso por unidad de volumen	Determinación de masa y volumen	Peso unitario	kg/m ³	Razón	Balanza, tanque de inmersión, horno; INVIAS E-412 / NTC 92

Nota. Incluye la determinación de la densidad aparente del concreto endurecido. Fuente propia con apoyo de NTC 92 e INVIAS

E-412.

Tabla 10.*Variable dependiente 4: Resistencia relativa.*

Variabilidad	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Instrumentos / Norma
Desempeño mecánico comparativo	Peso por unidad de volumen del concreto endurecido	(f'c de la mezcla / f'c del patrón) × 100, expresado en porcentaje	Porcentaje relativo	% de resistencia	Razón (%)	Cálculo a partir de f'c; NTC 673 / INVIAS E-412

Nota. Incluye el cálculo de resistencia de mezclas con sustitución frente al patrón. Fuente propia con apoyo de NTC 673 e

INVIAS E-412.

Tabla 11.*Variable dependiente 5: Tasa de desarrollo.*

Variabilidad	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Instrumentos / Norma
Desempeño mecánico a edades de curado	Velocidad de ganancia de f'c	Incremento de resistencia a la compresión entre edades específicas (7, 14, 28 y 42 días)	Intervalo temporal de ganancia	MPa/días calculados en cada tramo de edad	Razón	Prensa hidráulica para resultados de compresión; cálculos basados en NTC 673 e INVIAS E-412

Nota. Incluye la determinación de la velocidad de ganancia de resistencia a la compresión, comparando los valores obtenidos a

diferentes edades de curado. Fuente propia con apoyo de NTC 673 e INVIAS E-412.

Tabla 12.*Variable dependiente 6: Trabajabilidad relativa.*

Variabilidad	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Instrumentos / Norma
Comparación de trabajabilidad	Diferencia de asentamiento entre la mezcla patrón y las mezclas con sustitución	Comparación directa de los valores de asentamiento obtenidos en el cono de Abrams	Consistencia relativa	Diferencia en cm o porcentaje	Razón	Cono de Abrams metálico; NTC 396 / INVIAS E-412

Nota. Incluye la comparación de la trabajabilidad de las mezclas sustituidas frente al concreto patrón, expresada en diferencia de asentamiento. Fuente propia con apoyo de NTC 396 e INVIAS E-412.

Tabla 13.*Variable dependiente 7: Densidad relativa.*

Variabilidad	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Instrumentos / Norma
Comparación de propiedades físicas	Comparación de la densidad de mezclas sustituidas frente al patrón	Relación $(\rho_{mezcla} / \rho_{patron}) \times 100$, expresada en porcentaje	Porcentaje relativo de densidad	% de densidad respecto al patrón	Razón	Balanza digital y recipientes calibrados; NTC 92 / INVIAS E-412

Nota. Incluye la comparación entre la densidad de las mezclas sustituidas y la del concreto patrón, expresada en porcentaje.

Fuente propia con apoyo de NTC 92e INVIAS E-412.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1 Agregados Pétreos

La primera etapa de la presente investigación abordó la caracterización de diferentes parámetros de los agregados gruesos y finos, los cuales se establecen a continuación.

5.1.1 Contenido de agua

Esta característica se determinó a partir del procedimiento establecido en la normativa INV E-122-13 determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado. Esta norma de ensayo se realizó de manera previa durante los respectivos cálculos y procedimientos de mezcla de concreto base y con las respectivas dosificaciones con el reemplazo parcial de hueso bovino calcinado al 10% y al 15%. Estos resultados son:

Tabla 14.

Porcentaje de humedad determinado para el Agregado Fino.

Metodología de Diseño	% de Humedad Registrado
Diseño convencional (3000 PSI)	7.7 %
Diseño con 10% de reemplazo de cemento con hueso bovino calcinado	0.6 %
Diseño con 15% de reemplazo de cemento con hueso bovino calcinado	0.6 %

Nota. Elaboración Propia.

Tabla 15.*Porcentaje de humedad determinado para el Agregado Grueso.*

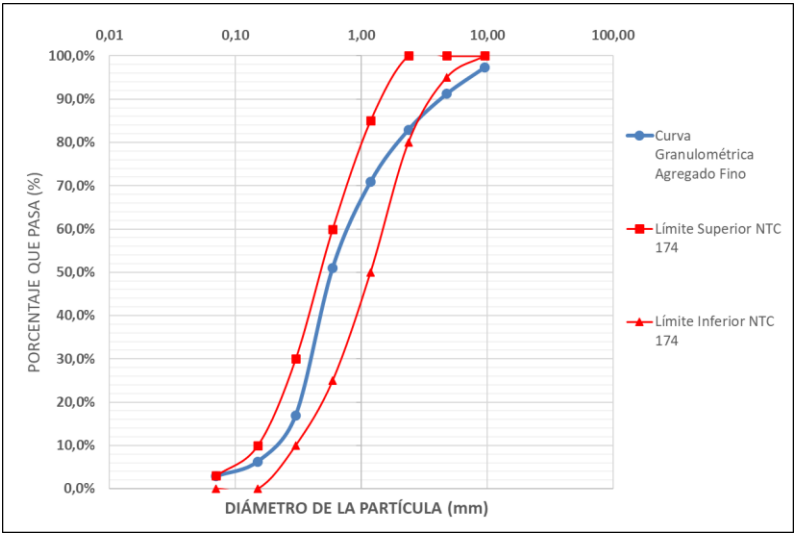
Metodología de Diseño	% de Humedad Registrado
Diseño convencional (3000 PSI)	4.8 %
Diseño con 10% de reemplazo de cemento con hueso bovino calcinado	2.9 %
Diseño con 15% de reemplazo de cemento con hueso bovino calcinado	2.9 %

Nota. Elaboración Propia.**5.1.2 Composición Granulométrica**

Establecer la distribución granulométrica de los agregados durante el diseño de una mezcla de concreto es fundamental, este parámetro permite determinar variables como el uso en obra, resistencia, costo y comportamiento estructural del concreto. Por ende, se estableció mediante la normativa INV E-213-13 Análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos, y la norma INV E-214-13 Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 μm (N°200) en los agregados pétreos mediante lavado, las cuales establecen los diámetros de las partículas que componen un agregado pétreo y las cuales se contemplan en las siguientes gráficas (Figura 4, Figura 5).

Figura 4.

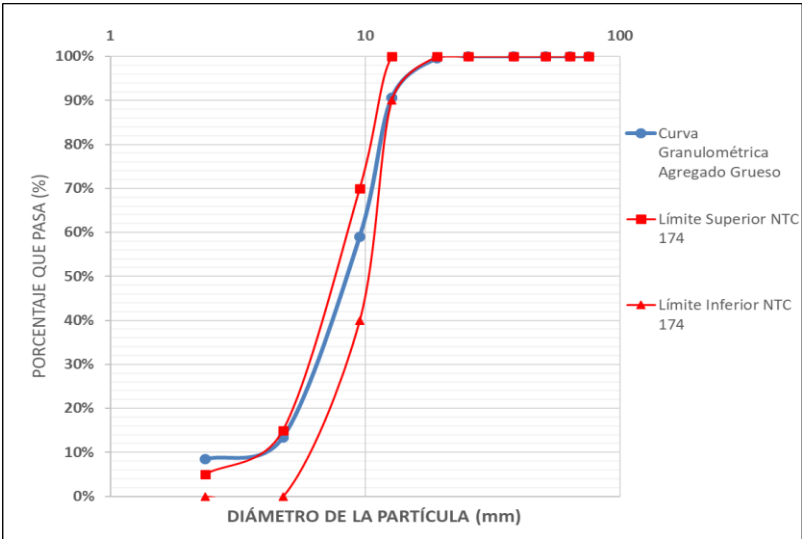
Distribución Granulométrica del Agregado Fino.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 5.

Distribución Granulométrica del Agregado Grueso.



Nota. Elaboración Propia.

5.1.3 Limpieza

El agregado fino juega un papel de suma importancia dentro de un diseño de una mezcla de concreto, este material presenta dentro de sus procesos naturales o industriales de formación partículas con un tamaño menor a los 75 μm (tamiz N°200) denominadas limos y arcillas. Sin embargo, presentar altos porcentajes de estas fracciones incurre directamente en diversas consecuencias en el concreto como la adherencia entre los agregados de mayor tamaño con el cemento, superficies específicas altas de estas partículas, mayores consumos de agua y aumento en el uso de cemento en la mezcla de concreto (Matallana, R. 2019).

Esto conlleva a una afectación significativa en la resistencia y durabilidad esperada del concreto, por lo cual, en la presente investigación determinó las condiciones del agregado fino usado en el diseño con los procedimientos establecidos en las normativas INV E-125-13 Límite Líquido de los suelos, INV E-126-13 Límite Plástico e Índice de plasticidad de los suelos y la norma INV E-13 Equivalente de arena de suelos y agregados finos, los cuales presentaron los siguientes resultados (Tabla 16).

Tabla 16.

Resultados de los ensayos de limpieza en el Agregado Fino.

NORMA	ENSAYO	RESULTADO
INV E-125-13	Límite Líquido de los Suelos	0 %
INV E-126-13	Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los suelos	0 %
INV E-133-13	Equivalente de arena en suelos y agregados finos	81 %

Nota. Elaboración Propia.

5.1.4 Dureza

La dureza de un componente de una mezcla de concreto está ligada directamente al agregado grueso de esta, por ende, determinar estas características es necesario con el fin de garantizar un adecuado acople entre la relación agregado-pasta de cemento. La durabilidad de un agregado usado para estos fines se rige bajo las normativas INV E-218-13 Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½") por medio de la Máquina de los Ángeles y INV E-238-13 Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato Micro-Deval.

Estos procedimientos de ensayo establecen los parámetros, equipos y procesos que se deben seguir para determinar de manera apropiada la resistencia de los agregados a procesos de degradación por medio de la abrasión que las partículas presentan al estar sometidas a una respectiva carga y bajo condiciones específicas de humedad (húmedas o secas), estos resultados obtenidos en la presente investigación son los siguientes (Tabla 17).

Tabla 17.

Resultados de los ensayos de dureza en el Agregado Grueso.

NORMA	ENSAYO	RESULTADO
INV E-218-13	Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½") por medio de la Máquina de los Ángeles	34 %
INV E-238-13	Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión,	22.2 %

utilizando el aparato Micro-
Deval

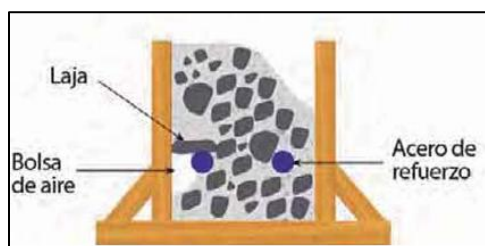
Nota. Elaboración Propia.

5.1.5 Geometría de las Partículas

Determinar la procedencia de un agregado grueso usado en una mezcla de concreto es de vital importancia, partiendo de la premisa que existen tres tipos de rocas (ígneas, metamórficas y sedimentarias), cada uno de estos tres presentan diferentes procesos mineralógicos de formación y asentamiento, lo cual se puede evidenciar en la forma de las partículas durante sus procesos de extracción y trituración (Sánchez, D. 2001). Un claro ejemplo de ello corresponde a los agregados de orígenes naturales que durante su proceso de trituración y distribución granulométrica presentan geometrías irregulares. Estas características determinan volumétricamente el correcto acomodamiento y compactación de las partículas dentro del concreto, donde teórica y técnicamente es indispensable contar con agregado redondeado y cúbico para garantizar altas densidades y por ende mayores resistencias en el concreto (Figura 6).

Figura 6.

Características volumétricas en una mezcla de concreto.



Nota. Tomada de. Matallana, R. (2019). El Concreto: Fundamentos y Nuevas Tecnologías. Pág. 74. [sitio web]. Recuperado de <https://share.google/JPVO4LkqueuOjOgDb>

Para el presente trabajo se determinó este parámetro bajo las normativas de ensayo INV E-227-13 Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso y INV E-230-13 Índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras, los cuales presentaron los siguientes resultados (Tabla 18).

Tabla 18.

Resultados de los ensayos para la caracterización geométrica de las partículas del Agregado Grueso.

NORMA	ENSAYO	RESULTADO	
INV E-227-13	Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso	1 cara fracturada	100 %
		2 o más caras fracturadas	100 %
INV E-230-13	Índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras	Índice de Alargamiento	26 %
		Índice de Aplanamiento	29 %

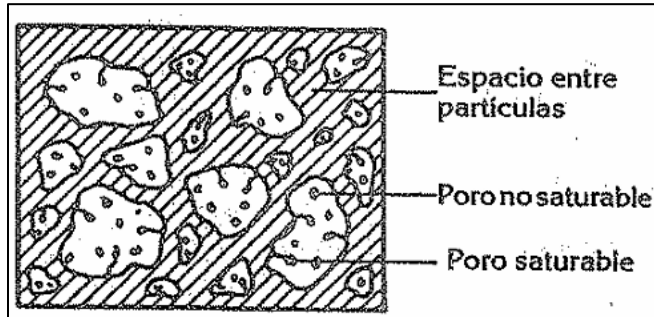
Nota. Elaboración Propia.

5.1.6 Densidad y Absorción de los Agregados

Los agregados tienen una de las características más importante para el diseño y producción de una mezcla de concreto, este parámetro medido en diferentes estados de las partículas (seco, saturado superficialmente seco y aparente) establece la cantidad de poros permeables y no permeables presentes en un agregado (Matallana, R. 2019) (Figura 7).

Figura 7.

Estados volumétricos de las partículas de un suelo.



Nota. Tomado de. Sánchez, D. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Pontificia Universidad Javeriana. República de Colombia.

Este parámetro determinado bajo las normas de ensayo INV E-222-13 Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino, y INV E-223-13 Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso fundamenta sus resultados según el principio de Arquímedes, adicionalmente otorga una característica volumétrica, la cual corresponde a la capacidad de absorción de agua por los poros permeables de las partículas de los agregados. Los anteriores criterios presentaron los siguientes resultados según las normativas de ensayo vigentes (Tabla 19).

Tabla 19.*Resultados de los ensayos de densidad de los Agregados Finos y Gruesos.*

AGREGADO	NORMA	ENSAYO	RESULTADOS
AGREGADO FINO	INV E-222-13		Densidad Seca al Horno (Kg/m ³) 2361
		Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino	Densidad en condición SSS (Kg/m ³) 2476
			Densidad Aparente (Kg/m ³) 2671
AGREGADO GRUESO	INV E-223-13		Densidad Seca al Horno (Kg/m ³) 2240
		Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso	Densidad en condición SSS (Kg/m ³) 2350
			Densidad Aparente (Kg/m ³) 2517

Nota. Elaboración Propia.**5.1.7 Masas Unitarias de los Agregados**

El presente concepto estaba relacionado con la densidad de un material, sin embargo, en materia de diseño de mezclas de concreto este parámetro establece criterios de rendimiento en la cantidad de cemento y acomodamiento de las partículas de los agregados. Por ello, es indispensable dentro de procesos industriales determinar variables de optimización que permitan garantizar menos precios en la producción de concretos (Matallana, R. 2019). Este resultado se puede obtener mediante el método de ensayo INV E-217-13 Densidad bulk (Peso unitario) y porcentaje de vacíos de los

agregados en estado suelto y compacto, el cual, para esta investigación se obtuvieron los resultados establecidos en la Tabla 20.

Tabla 20.

Resultados de las Masas Unitarias de los Agregados Finos y Gruesos.

AGREGADO	NORMA	ENSAYO	VARIABLE	RESULTADOS ESTADO SUELTO	RESULTADOS ESTADO COMPACTO
AGREGADO FINO	INV E-217-13	Densidad bulk (Peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto	Densidad Bulk Seca (Kg/m^3)	1258.6	1314.8
			Peso Unitario (N/m^3)	12347.2	12897.8
			% de Vacíos	43.8	41.3
			Densidad Bulk Seca (Kg/m^3)	1258.6	1314.8
AGREGADO GRUESO			Peso Unitario (N/m^3)	12347.2	12897.8
			% de Vacíos	43.8	41.3

Nota. Elaboración Propia.

5.2 Cemento y hueso bovino

El siguiente componente del cual se requiere una caracterización para establecer el diseño de la mezcla de concreto es el cemento. Este elemento, con propiedades cohesivas en presencia de agua, requiere un minucioso control de calidad para garantizar la resistencia y durabilidad del concreto “in situ”, por ende, uno de los parámetros indispensables en este proceso fue la densidad del cemento, la

cual, se realizó bajo lo establecido en la norma NTC 221:2019 y que determinó el siguiente resultado (Tabla 21).

Tabla 21.

Densidad del cemento registrada.

NORMA	ENSAYO	RESULTADO
NTC 221:2019	Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico	3084 kg/m ³

Nota. Elaboración Propia.

Contextualizando la presente investigación en la adición de hueso bovino calcinado como reemplazo parcial del cemento en una mezcla de concreto, esta sustitución debe estar sustentada en los diseños de mezcla de concreto con resultados acordes al objetivo del presente trabajo. Por ende, se realizó la determinación de la densidad del hueso bovino calcinado puro y del cemento con los reemplazos parciales del 10% y 15% de este material sostenible, estos resultados se encuentran en la Tabla 22 y Tabla 23.

Tabla 22.

Densidad del hueso bovino calcinado.

NORMA	ENSAYO	RESULTADO
NTC 221:2019	Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico	2940 kg/m ³

Nota. Elaboración Propia.

Tabla 23.

Densidades del cemento + hueso bovino calcinado al 10% y 15%.

NORMA	ENSAYO	PROPORCIÓN	RESULTADO
NTC 221:2019	Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico	10 %	2988 kg/m ³
		15%	2960 kg/m ³

Nota. Elaboración Propia.

5.3 Diseño de Mezcla de Concreto

Determinadas las características de los materiales que componen un concreto, se realizó el diseño de la mezcla bajo la metodología establecida por el Instituto Americano del Concreto 211.1 (ACI, por sus siglas en ingles), adicional se realiza la respectiva optimización granulométrica de los agregados por medio de los parámetros Road Note Laboratory (Método Gráfico) y Fuller y Thompson, obteniendo los siguientes resultados de dosificación.

5.3.1 Selección de Fluides

La selección de la fluidez de la mezcla se terminó según las características de los agregados, las cuales permiten concretos con manejabilidades altas y que garantice la resistencia deseada. Por lo anterior, se determinó un asentamiento de **10 cm (100 mm)**, adecuado para estructuras esbeltas y que permitan utilicen procesos constructivos mediante bombeo o directamente puesto “in situ”, adicional, este valor puede garantizar colocación de concreto sin necesidad de vibrado (Sánchez, D. 2001), ampliando el uso y la versatilidad de la mezcla en el presente trabajo investigativo

5.3.2 Contenido de Aire

Para determinar este parámetro se deben tomar dos valores, el primero corresponde al Tamaño Máximo Nominal (TMN) calculado a partir del análisis granulométrico del Agregado Grueso y que se define como la abertura del tamiz inmediatamente superior del cual el retenido acumulado es igual o superior al 15% (Matallana, R. 2019) y que para el agregado suministrado por la Universidad presenta un valor de 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ").

El segundo dato se determina a partir de las condiciones y estructura a la cual se producirá la mezcla de concreto, debido a que, según estas variables se determina que nivel de exposición tendrá la mezcla y si requiere incorporaciones controladas de aire para garantizar calidad y desempeño de la estructura frente a agentes químicos y naturales que la puedan llegar a afectar, por lo cual, se determinó un concreto con Aire Naturalmente Atrapado al no tener una estructura definida de uso ni grado de exposición. A partir de los anteriores datos establecidos se adoptó un valor de 2.5% según la Figura 8.

Figura 8.

Contenido de Aire según TMN y Niveles de Exposición.

Tabla 11.5 Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños máximos de agregado (a)

Tamaño máximo nominal del agregado mm	pulg.	Contenido de aire en porcentaje (por volumen)			
		Naturalmente atrapado	Exposición ligera	Exposición moderada	Exposición severa
9.51	$\frac{3}{8}$	3.0	4.5	6.0	7.5
12.7	$\frac{1}{2}$	2.5	4.0	5.5	7.0
19.0	$\frac{3}{4}$	2.0	3.5	5.0	6.0
25.4	1	1.5	3.0	4.5	6.0
38.1	$1\frac{1}{2}$	1.0	2.5	4.5	5.5
50.8	2	0.5	2.0	4.0	5.0
76.1	3	0.3	1.5	3.5	4.5
152.0	6	0.2	1.0	3.0	4.0

Nota. Tomado de. Sánchez, D. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Pontificia Universidad Javeriana. República de Colombia.

5.3.3 Contenido de Agua de Mezclado

Estimar el contenido de agua de mezclado en un diseño de concreto bajo esta metodología investigativa establece dos métodos teóricos que correlacionan este valor con parámetros previamente caracterizados. El primer método relaciona este valor con las condiciones de aire de la mezcla, el asentamiento de diseño y el Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado grueso (Matallana, R. 2019), y la segunda metodología correlaciona la textura del agregado, el asentamiento y el TMN del agregado grueso (Sandino, A. 1981). Para el presente trabajo investigativo se toma el valor mayor entre estos dos métodos (Figura 9 y Figura 10), el cual corresponde a 215 Kg/m³ de agua de mezclado.

Figura 9.

Cantidad de Agua de Mezclado según Contenido de Aire, Asentamiento y TMN.

Contenido de aire	Asentamiento (cm)	Agua, en kg/m ³ de concreto para los TMN del agregado indicados ^a , mm							
		9,5	12,5	19	25	37,5	50 ^a	75 ^a	150 ^a
Concreto sin aire incluido	3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
	8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
	15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	-
	Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incluido, %	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incluido	3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
	8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
	15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	-
	Promedio recomendable de contenido total de aire, %	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3

Nota. Tomada de. Matallana, R. (2019). El Concreto: Fundamentos y Nuevas Tecnologías. Pág. 140. [sitio web]. Recuperado de <https://share.google/JPVO4LkqueuOjOgDb>

Figura 10.

Cantidad de Agua de Mezclado según Textura del Agregado Grueso, Asentamiento y TMN.



Nota. Adaptado de. Sandino, A. (1981). Materiales para Estructuras. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C. República de Colombia.

5.3.4 Resistencia de Diseño

Partiendo de la premisa investigativa del presente trabajo que busca relacionar un diseño de concreto convencional con unos diseños con reemplazos parciales de cemento por hueso bovino calcinado, este trabajo no contiene datos previos que permitan determinar la desviación estándar de las resistencias, por lo cual la Resistencia de Diseño Requerida (f'_{cr}) tiene un valor de 30 MPa (300 Kg/cm²) según lo establecido por la Norma Sismo Resistente en la Título C-Concreto Estructural Tabla C.5.3.2.2.

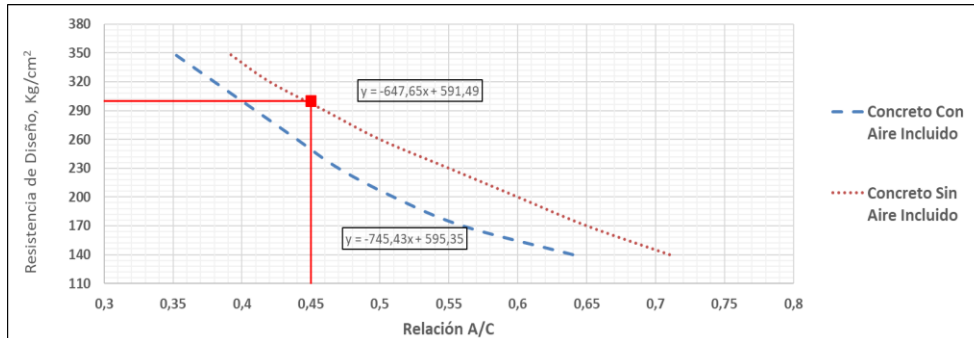
5.3.5 Relación Agua-Material Cementante

La relación a/mc es un valor establecido bajo las condiciones de resistencia y durabilidad que se espera en la mezcla de concreto (Kosmatka, S; Kerkhoff, B; Panarese, W, y Tanesi, J. 2002), para encontrar este parámetro la metodología relaciona la Resistencia de Diseño de la mezcla y la

característica de aire que tendrá la misma (con o sin aire incluido), esta correlación determina un valor de 0.45 para el presente trabajo (Figura 11).

Figura 11.

Valor de Relación Agua/Material Cementante.



Nota. Adaptado de. Kosmatka, S; Kerkhoff, B; Panarese, W, y Tanesi, J. (2002). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Fig. 9.2 Portland Cement Association.

5.3.6 Estimación Volúmenes de la Mezcla

Determinadas las variables anteriores, se procede a calcular los volúmenes que representa la mezcla de concreto, las cuales corresponden al diseño de concreto convencional (Figura 12), diseño con 10% de hueso bovino calcinado como reemplazo del cemento (Figura 13) y volumen de mezcla con la sustitución del 15% de hueso bovino calcinado por cemento (Figura 14).

Figura 12.

Estimación del volumen de la mezcla de concreto convencional.

ESTIMACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE LA MEZCLA DE CONCRETO						
COMPONENTE	MASA POR METRO CÚBICO, (Kg/m ³)	DENSIDAD APARENTE, (Kg/m ³)	VOLUMEN, (m ³ /m ³)	PROPORCIÓN	VOLÚMENES DE LA MEZCLA	
AGUA	215	1000	0,215	0,45	VOLUMEN AGUA + CEMENTO + AIRE + HUESO BOVINO MOLIDO, (m ³ /m ³)	0,395
CEMENTO	478	3084	0,155	2,22		
AIRE	0	0	0,025	0	V _{TA} VOLUMEN DE LOS AGREGADOS, (m ³ /m ³)	0,605
HUESO BOVINO MOLIDO	0	2940	0	0		

Nota. Elaboración Propia.

Figura 13.

Estimación del volumen de la mezcla de concreto con 10% de sustitución de cemento por hueso bovino calcinado.

ESTIMACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE LA MEZCLA DE CONCRETO						
COMPONENTE	MASA POR METRO CÚBICO, (Kg/m ³)	DENSIDAD APARENTE, (Kg/m ³)	VOLUMEN, (m ³ /m ³)	PROPORCIÓN	VOLÚMENES DE LA MEZCLA	
AGUA	215	1000	0,215	0,45	VOLUMEN AGUA + CEMENTO + AIRE + HUESO BOVINO MOLIDO, (m ³ /m ³)	0,387
CEMENTO	430,2	2960	0,131	2,00		
AIRE	0	0	0,025	0	V _{TA} VOLUMEN DE LOS AGREGADOS, (m ³ /m ³)	0,614
HUESO BOVINO MOLIDO	47,8	2940	0,016	0,22		

Nota. Elaboración Propia.

Figura 14.

Estimación del volumen de la mezcla de concreto con 15% de sustitución de cemento por hueso bovino calcinado.

ESTIMACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE LA MEZCLA DE CONCRETO						
COMPONENTE	MASA POR METRO CÚBICO, (Kg/m ³)	DENSIDAD APARENTE, (Kg/m ³)	VOLUMEN, (m ³ /m ³)	PROPORCIÓN	VOLÚMENES DE LA MEZCLA	
AGUA	215	1000	0,215	0,45	VOLUMEN AGUA + CEMENTO + AIRE + HUESO BOVINO MOLIDO, (m ³ /m ³)	0,380
CEMENTO	406,3	2960	0,116	1,89		
AIRE	0	0	0,025	0	V _{TA} VOLUMEN DE LOS AGREGADOS, (m ³ /m ³)	0,620
HUESO BOVINO MOLIDO	71,7	2940	0,024	0,33		

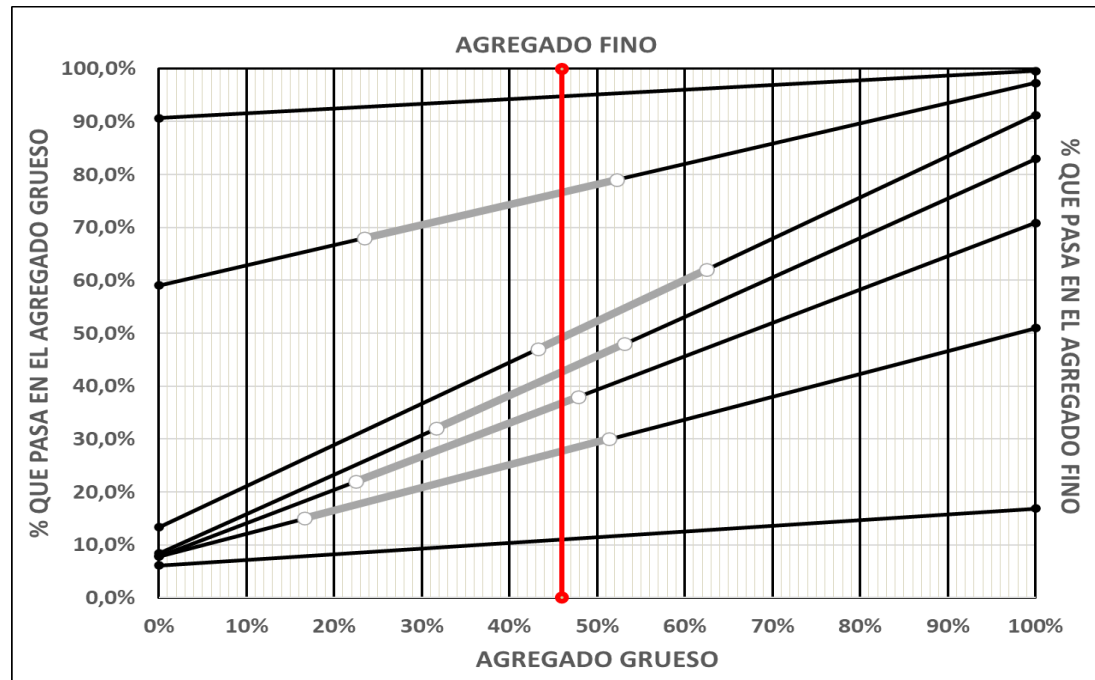
Nota. Elaboración Propia.

5.3.7 Optimización Granulométrica

Durante la caracterización de los agregados se puede evidenciar inconsistencias en la uniformidad del tamaño de las partículas, afectando las proporciones correctas de los agregados en la mezcla de concreto. Por ende, se realizó la respectiva optimización granulométrica de los materiales pétreos mediante la combinación de dos métodos, el primero corresponde al Método Gráfico (Road Note Laboratory) del cual se obtiene los % adecuados de grava y arena (Figura 15), y el segundo proporciona la respectiva curva granulométrica combinada según parámetros relacionados por Fuller y Thompson (Matallana, R. 2019) (Figura 16). Estos resultados proporcionaron valores de 54% de arena y 46% de grava.

Figura 15.

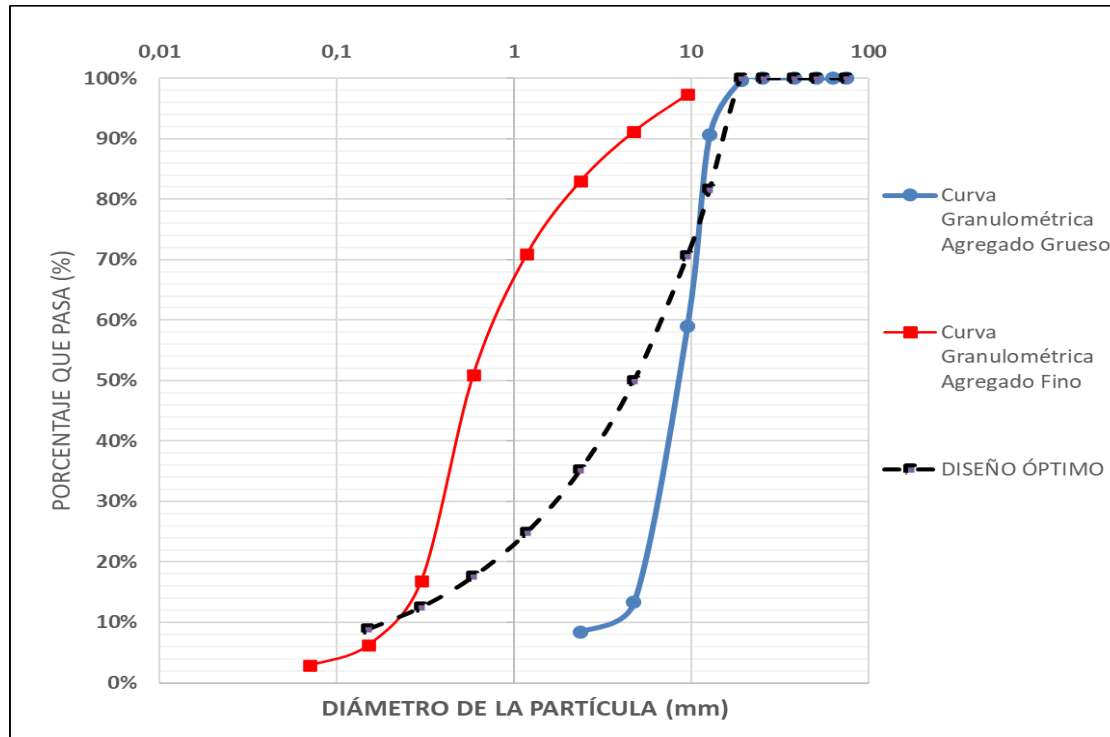
Optimización Granulométrica por el Método Gráfico (RNL).



Nota. Elaboración Propia.

Figura 16.

Granulometría combinada según metodología Fuller y Thompson.



Nota. Elaboración Propia.

5.3.8 Estimación de la cantidad de agregados

Garantizando la mejor proporción de agregados gruesos y finos de las mezclas de diseño de concreto que se desean dosificar, se procede a determinar la cantidad de material pétreo a partir de estos %, la diferencia de densidades aparentes de los agregados -calculadas anteriormente- y el promedio de estas según los datos establecidos. Para la presente investigación se estimaron las siguientes proporciones de agregados gruesos y finos en las tres dosificaciones propuestas (Figura 17, Figura 18 y Figura 19).

Figura 17.

Cantidad de agregados para el diseño de concreto convencional.

ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGREGADOS GRUESOS Y AGREGADOS FINOS					
PROMEDIO APARENTE DE LOS AGREGADOS		FÓRMULA N°1	ESTIMACIÓN MASA DE LOS AGREGADOS DE LA MEZCLA		FÓRMULAS
DIFERENCIA ENTRE DENSIDADES APARENTES DE LOS AGREGADOS, Kg/cm ³	5,9%	$d_{prom} = \frac{d_g \cdot d_f}{\%_g d_g + \%_f d_f}$	(W _{ta}) PESO TOTAL DE LOS AGREGADOS, Kg/cm ³	1564,5	$W_{TA} = d_{prom} \cdot V_{TA}$
SI LA DIFERENCIA ENTRE LAS DENSIDADES DE LOS AGREGADOS SUPERA EL 5%, SE DEBE UTILIZAR LA FÓRMULA N°1. DE LO CONTRARIO UTILICE LA FÓRMULA N°2		FÓRMULA N°2	(W _g) PESO DEL AGREGADO GRUESO, Kg/cm ³	719,7	$W_g = W_{TA} \cdot \%_g$
(d _{prom}) DENSIDAD PROMEDIO DE LOS AGREGADOS, Kg/cm ³	2586	$d_{prom} = \%_g d_g + \%_f d_f$	(W _f) PESO DEL AGREGADO FINO, Kg/cm ³	844,8	$W_f = W_{TA} \cdot \%_f$

Nota. Elaboración Propia.

Figura 18.

Cantidad de agregados para el diseño de concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado.

ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGREGADOS GRUESOS Y AGREGADOS FINOS					
PROMEDIO APARENTE DE LOS AGREGADOS		FÓRMULA N°1	ESTIMACIÓN MASA DE LOS AGREGADOS DE LA MEZCLA		FÓRMULAS
DIFERENCIA ENTRE DENSIDADES APARENTES DE LOS AGREGADOS, Kg/cm ³	5,9%	$d_{prom} = \frac{d_g \cdot d_f}{\%_g d_g + \%_f d_f}$	(W _{ta}) PESO TOTAL DE LOS AGREGADOS, Kg/cm ³	1586,5	$W_{TA} = d_{prom} \cdot V_{TA}$
SI LA DIFERENCIA ENTRE LAS DENSIDADES DE LOS AGREGADOS SUPERA EL 5%, SE DEBE UTILIZAR LA FÓRMULA N°1. DE LO CONTRARIO UTILICE LA FÓRMULA N°2		FÓRMULA N°2	(W _g) PESO DEL AGREGADO GRUESO, Kg/cm ³	729,8	$W_g = W_{TA} \cdot \%_g$
(d _{prom}) DENSIDAD PROMEDIO DE LOS AGREGADOS, Kg/cm ³	2586	$d_{prom} = \%_g d_g + \%_f d_f$	(W _f) PESO DEL AGREGADO FINO, Kg/cm ³	856,7	$W_f = W_{TA} \cdot \%_f$

Nota. Elaboración Propia.

Figura 19.

Cantidad de agregados para el diseño de concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.

ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGREGADOS GRUESOS Y AGREGADOS FINOS					
PROMEDIO APARENTE DE LOS AGREGADOS		FÓRMULA N°1	ESTIMACIÓN MASA DE LOS AGREGADOS DE LA MEZCLA		FÓRMULAS
DIFERENCIA ENTRE DENSIDADES APARENTES DE LOS AGREGADOS, Kg/cm ³	5,9%	$d_{prom} = \frac{d_g \cdot d_f}{\%_g d_g + \%_f d_f}$	(W _{ta}) PESO TOTAL DE LOS AGREGADOS, Kg/cm ³	1602,2	$W_{TA} = d_{prom} \cdot V_{TA}$
SI LA DIFERENCIA ENTRE LAS DENSIDADES DE LOS AGREGADOS SUPERA EL 5%, SE DEBE UTILIZAR LA FÓRMULA N°1. DE LO CONTRARIO UTILICE LA FÓRMULA N°2		FÓRMULA N°2	(W _g) PESO DEL AGREGADO GRUESO, Kg/cm ³	737	$W_g = W_{TA} \cdot \%_g$
(d _{prom}) DENSIDAD PROMEDIO DE LOS AGREGADOS, Kg/cm ³	2586	$d_{prom} = \%_g d_g + \%_f d_f$	(W _f) PESO DEL AGREGADO FINO, Kg/cm ³	865,2	$W_f = W_{TA} \cdot \%_f$

Nota. Elaboración Propia.

5.3.9 Corrección de la cantidad de agua de la mezcla

Mantener controlado en porcentaje de humedad de los agregados usados en mezclas de concreto requieren procesos muy rigurosos, por ende, en cada proceso de producción de concretos se deben determinar las condiciones de humedad de los agregados usados. Por lo anterior, previamente a la producción de los diseños establecidos en la presente investigación se determinó la cantidad de agua interna en los materiales pétreos con el fin de realizar la respectiva corrección de agua de mezclado de los diseños de concreto, obteniendo las siguientes cantidades (Figura 20, Figura 21 y Figura 22).

Figura 20.

Corrección de agua de mezclado para el diseño de concreto convencional.

ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA EN LA MEZCLA		
(A _g) Agua por defecto/exceso del agregado grueso, Kg/cm ³	0,72	ADICIONAR
(A _f) Agua por exceso/defecto del agregado fino, Kg/cm ³	-25,34	QUITAR
(A _{TA}) Agua por exceso/defecto total de los agregados, Kg/cm ³	-24,62	QUITAR

Nota. Elaboración Propia.

Figura 21.

Corrección de agua de mezclado para el diseño de concreto con sustitución del 10% de cemento con hueso bovino calcinado.

ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA EN LA MEZCLA		
(A _g) Agua por defecto/exceso del agregado grueso, Kg/cm ³	14,6	ADICIONAR
(A _f) Agua por exceso/defecto del agregado fino, Kg/cm ³	35,12	ADICIONAR
(A _{TA}) Agua por exceso/defecto total de los agregados, Kg/cm ³	49,72	ADICIONAR

Nota. Elaboración Propia.

Figura 22.

Corrección de agua de mezclado para el diseño de concreto con sustitución del 15% de cemento con hueso bovino calcinado.

ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA EN LA MEZCLA		
(A _g) Agua por defecto/exceso del agregado grueso, Kg/cm ³	14,74	ADICIONAR
(A _f) Agua por exceso/defecto del agregado fino, Kg/cm ³	35,47	ADICIONAR
(A _{TA}) Agua por exceso/defecto total de los agregados, Kg/cm ³	50,21	ADICIONAR

Nota. Elaboración Propia.

5.3.10 Dosificación para 1 m³

Parametrizadas todas las variables que componen el diseño de una mezcla de concreto, se establecieron los valores que corresponden a 1 m³ de concreto para cada uno de los diseños determinados en la presente investigación (Figura 23, Figura 24 y Figura 25).

Figura 23.

Dosificación de 1m3 de mezcla de concreto convencional.

DOSIFICACIÓN PARA:				1 m ³	
Material	Masa, Kg/m ³	Porcentaje en Peso	Peso Húmedo, Kg/m ³	Densidad Aparente, Kg/m ³	Volumen, m ³ /m ³
Agua	215	9,5%	190,4	1000	0,220
Cemento	478	21,2%	478,0	3084	0,150
Aire	0	0,0%	0,0	0	0,025
Hueso Bovino Molido	0	0,0%	0,0	2940	0,000
Agregado Grueso	719,7	31,9%	754,2	2517	0,290
Agregado Fino	844,8	37,4%	909,8	2671	0,320
TOTAL	2257,5	100%	2332,4		1,00

Nota. Elaboración Propia.

Figura 24.

Dosificación de 1m³ de mezcla de concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado.

DOSIFICACIÓN PARA:				1 m ³	
Material	Masa, Kg/m ³	Porcentaje en Peso	Peso Húmedo, Kg/m ³	Densidad Aparente, Kg/m ³	Volumen, m ³ /m ³
Agua	215	9,4%	264,7	1000	0,215
Cemento	430,2	18,9%	430,2	2960	0,145
Aire	0	0,0%	0,0	0	0,025
Hueso Bovino Molido	47,8	2,1%	47,8	2940	0,016
Agregado Grueso	729,8	32,0%	751,0	2517	0,290
Agregado Fino	856,7	37,6%	861,8	2671	0,321
TOTAL	2279,5	100%	2355,5		1,00

Nota. Elaboración Propia.

Figura 25.

Dosificación de 1m³ de mezcla de concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.

DOSIFICACIÓN PARA:				1 m ³	
Material	Masa, Kg/m ³	Porcentaje en Peso	Peso Húmedo, Kg/m ³	Densidad Aparente, Kg/m ³	Volumen, m ³ /m ³
Agua	215	9,4%	265,2	1000	0,215
Cemento	406,3	17,7%	406,3	2960	0,137
Aire	0	0,0%	0,0	0	0,025
Hueso Bovino Molido	71,7	3,1%	71,7	2940	0,024
Agregado Grueso	737	32,1%	758,4	2517	0,293
Agregado Fino	865,2	37,7%	870,4	2671	0,324
TOTAL	2295,2	100%	2372,0		1,00

Nota. Elaboración Propia.

5.3.11 Dosificación para 17 Litros

La anterior dosificación regula la cantidad que se produce durante procesos con altas cantidades de concreto puesto “in situ”, sin embargo, al tratarse de procesos investigativos se requiere una menor cantidad de mezcla la cual se determina a partir de la cantidad de cilindros metálicos de 4”x8” (100 mm x 200 mm) y el respectivo volumen de esta proporción en Litros (Figura 26).

Figura 26.

Volumen total en litros de mezcla de concreto necesaria.

CANTIDAD DE MEZCLA SEGÚN CAPACIDAD DE MEZCLADOR				
PROBETA	CANTIDAD	VOLUMEN (L/Probeta)	VOLUMEN TOTAL (L)	VOLUMEN POR TANDA DE MEZCLA (L)
Convencional	27	1,57	50,9	17,0

Nota. Elaboración Propia.

Cabe destacar que, la cantidad de mezcla a realizar depende de la capacidad del tambor de mezclado suministrado por la universidad, el cual contempla un máximo de 20 Litros de mezcla que para el presente trabajo se realizó con 17 Litros de dosificación, obteniendo las siguientes proporciones para cada uno de los tres diseños a investigar (Figura 27, Figura 28 y Figura 29).

Figura 27.

Dosificación de 17 Litros de mezcla de concreto convencional.

DOSIFICACIÓN PARA:				17,0 Litros	
Material	Masa, Kg/m ³	Porcentaje en Peso	Densidad Aparente, Kg/m ³	Peso Húmedo, g/L	Volumen, l/L
Agua	215	9,5%	1000	3230	3,73
Cemento	478	21,2%	3084	8108	2,54
Aire	0	0,0%	0	0	0,42
Hueso Bovino Molido	0	0,0%	2940	0	0,00
Agregado Grueso	719,7	31,9%	2517	12792	4,92
Agregado Fino	844,8	37,4%	2671	15432	5,43
TOTAL	2257,5	100%	12212	39562,0	17,0

Nota. Elaboración Propia.

Figura 28.

Dosificación de 17 Litros de mezcla de concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado.

DOSIFICACIÓN PARA:				17,0 Litros	
Material	Masa, Kg/m ³	Porcentaje en Peso	Densidad Aparente, Kg/m ³	Peso Húmedo, g/L	Volumen, l/L
Agua	215	9,4%	1000	4490	3,65
Cemento	430,2	18,9%	2960	7298	2,46
Aire	0	0,0%	0	0	0,42
Hueso Bovino Molido	47,8	2,1%	2940	812	0,27
Agregado Grueso	729,8	32,0%	2517	12738	4,92
Agregado Fino	856,7	37,6%	2671	14618	5,44
TOTAL	2279,5	100%	12088	39956,0	17,2

Nota. Elaboración Propia.

Figura 29.

Dosificación de 17 Litros de mezcla de concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.

DOSIFICACIÓN PARA:				17,0 Litros	
Material	Masa, Kg/m ³	Porcentaje en Peso	Densidad Aparente, Kg/m ³	Peso Húmedo, g/L	Volumen, L/L
Agua	215	9,4%	1000	4498	3,65
Cemento	406,3	17,7%	2960	6892	2,32
Aire	0	0,0%	0	0	0,42
Hueso Bovino Molido	71,7	3,1%	2940	1218	0,41
Agregado Grueso	737	32,1%	2517	12864	4,97
Agregado Fino	865,2	37,7%	2671	14762	5,50
TOTAL	2295,2	100%	12088	40234,0	17,3

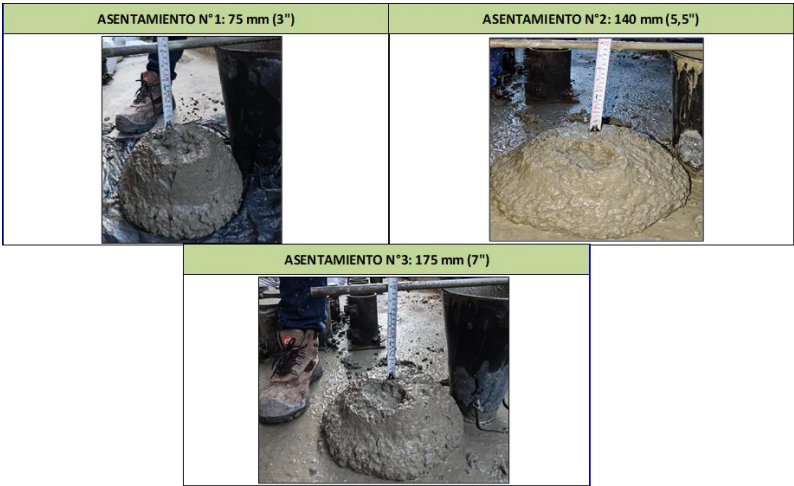
Nota. Elaboración Propia.

5.4 Registro de Asentamiento

Este parámetro permite determinar las condiciones a las cuales se calculó la cantidad de agua de mezclado, relatando que, el añadir más cantidad de agua de mezclado puede repercutir directamente en la resistencia y durabilidad del concreto (Matallana, R. 2019). Por ende, se realizó bajo el procedimiento establecido en la NTC 396:2024 el ensayo de asentamiento en mezclas de concreto fresco, obteniendo por cada tanda de mezclado de los diseños establecidos 3 determinaciones de fluidez (Figura 30, Figura 31 y Figura 32).

Figura 30.

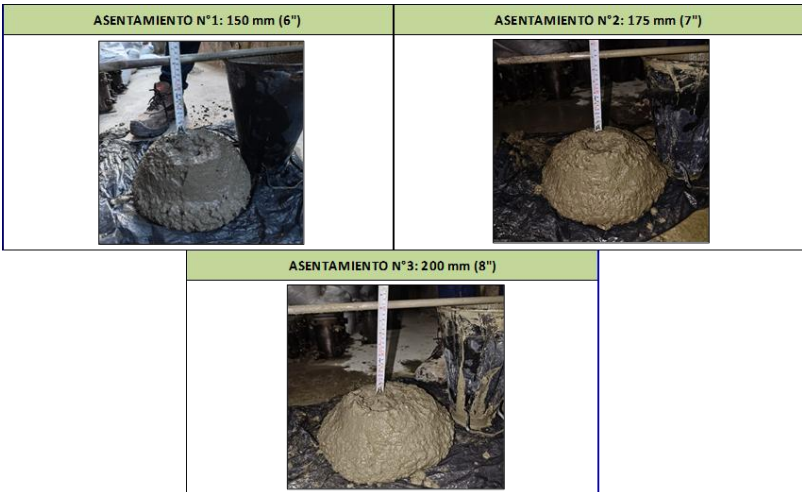
Asentamiento registrado para cada tanda de concreto convencional.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 31.

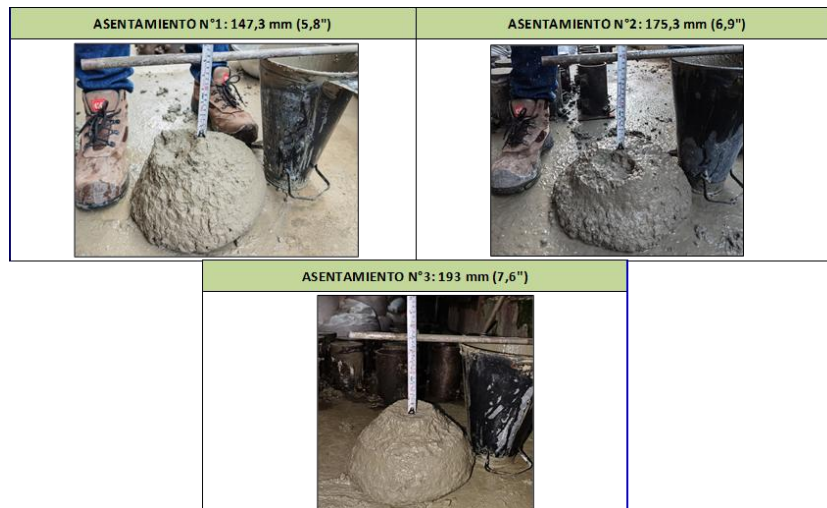
Asentamiento registrado para cada tanda de concreto con sustitución del 10% de hueso bovino calcinado por cemento.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 32.

Asentamiento registrado para cada tanda de concreto con sustitución del 15% de hueso bovino calcinado por cemento.



Nota. Elaboración Propia.

5.5 Resistencia a la Compresión

Realizado el proceso de elaboración de los 27 especímenes para cada diseño establecido según los parámetros de la normativa NTC 550:2020 elaboración y curado de especímenes de concreto en el sitio de trabajo, se realizó el desmolde y respectiva inmersión de los cilindros de concreto en una piscina de curado, permitiendo el correcto curado de las muestras. Este procedimiento garantiza la hidratación de las partículas de cemento evitando un acelerado proceso exotérmico de los especímenes y disminución de las resistencias esperadas (Sánchez, D. 2001).

La elaboración de mezclas de concreto convencional rige su aprobación con la resistencia a la compresión registrada a los 28 días de su fundida y bajo parámetros de la normativa NTC 673:2021 método de ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, sin embargo,

en el presente trabajo se obtuvieron resultados a 7, 14 y 28 días como tiempo inicial asegurando el seguimiento al desarrollo de las muestras, y adicional, se realizaron cilindros para resultados a 35 y 42 días consiguiendo datos posteriores a la edad de diseño. Estos valores de cada una de las mezclas de diseño están consignados en la Figura 33, 34 y 35.

Figura 33.

Resultados registrados de Resistencia a la Compresión de la mezcla de concreto convencional.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO (NTC 673:2021)														
Slump (in)	Resistencia de Diseño	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Edad de Fallo	Longitud Promedio (mm)	Diámetro Promedio (mm)	Masa del Cilindro (g)	Densidad (Kg/m ³)	Relación L/D	Carga Máxima (kN)	Esfuerzo (Mpa)	% de Desarrollo	Tipo de Falla	Temperatura Piscina de Curado (°C)
3	21	22/05/2025	29/05/2025	7	206,0	102,7	3838	2251,3	2,0	97,8	11,8	56,3%	4	19
5,5	21	22/05/2025	29/05/2025	7	202,5	101,6	3668	2236,4	2,0	97,8	12,1	57,5%	4	19
7	21	22/05/2025	29/05/2025	7	204,0	102,1	3756	2251,0	2,0	88,7	10,8	51,6%	4	19
3	21	22/05/2025	5/06/2025	14	204,6	102,1	3643	2175,3	2,0	144,1	17,6	83,8%	4	18
5,5	21	22/05/2025	5/06/2025	14	200,9	101,6	3632	2229,9	2,0	139,6	17,2	82,0%	4	18
7	21	22/05/2025	5/06/2025	14	200,5	100,2	3593	2275,4	2,0	132,9	16,9	80,3%	4	18
3	21	22/05/2025	19/06/2025	28	204,5	101,6	3746	2259,4	2,0	177,0	21,8	104,0%	4	19
3	21	22/05/2025	19/06/2025	28	206,5	101,4	3796	2276,4	2,0	177,0	21,9	104,4%	4	19
5,5	21	22/05/2025	19/06/2025	28	206,0	102,7	3786	2218,6	2,0	171,9	20,8	98,8%	2	19
5,5	21	22/05/2025	19/06/2025	28	204,5	101,7	3698	2226,1	2,0	163,6	20,1	95,9%	2	19
7	21	22/05/2025	19/06/2025	28	205,0	101,9	3770	2255,0	2,0	169,3	20,8	98,9%	2	19
7	21	22/05/2025	19/06/2025	28	205,0	102,6	3772	2225,5	2,0	172,9	20,9	99,6%	5	19
7	21	22/05/2025	19/06/2025	28	203,5	102,0	3786	2276,8	2,0	172,0	21,1	100,2%	3	19
3	21	22/05/2025	26/06/2025	35	203,0	103,2	3820	2251,8	2,0	189,7	22,7	108,1%	2	20
3	21	22/05/2025	26/06/2025	35	202,5	101,1	3608	2221,7	2,0	185,5	23,1	110,1%	2	20
3	21	22/05/2025	26/06/2025	35	201,0	101,5	3718	2286,1	2,0	184,3	22,8	108,5%	5	20
3	21	22/05/2025	26/06/2025	35	199,5	102,5	3760	2284,1	1,9	184,8	22,4	106,7%	5	20
5,5	21	22/05/2025	26/06/2025	35	204,5	102,5	3848	2282,6	2,0	187,1	22,7	108,1%	5	20
7	21	22/05/2025	26/06/2025	35	203,5	102,9	3826	2263,0	2,0	186,6	22,5	107,0%	2	20
7	21	22/05/2025	26/06/2025	35	204,0	101,7	3718	2243,6	2,0	179,3	22,1	105,1%	3	20
3	21	22/05/2025	3/07/2025	42	204,5	101,6	3736	2253,4	2,0	199,7	24,6	117,3%	5	19
3	21	22/05/2025	3/07/2025	42	204,0	102,2	3794	2269,3	2,0	216,2	26,4	125,6%	3	19
3	21	22/05/2025	3/07/2025	42	205,0	101,6	3746	2253,9	2,0	202,8	25,0	119,1%	5	19
5,5	21	22/05/2025	3/07/2025	42	203,0	102,3	3748	2246,3	2,0	202,4	24,6	117,2%	2	19
5,5	21	22/05/2025	3/07/2025	42	203,5	101,3	3682	2245,0	2,0	182,6	22,7	107,9%	5	19
7	21	22/05/2025	3/07/2025	42	202,5	101,8	3708	2249,7	2,0	179,8	22,1	105,2%	5	19
7	21	22/05/2025	3/07/2025	42	204,5	102,1	3782	2261,1	2,0	189,2	23,1	110,1%	2	19

Nota. Elaboración Propia.

Figura 34.

Resultados registrados de Resistencia a la Compresión de la mezcla de concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO (INVE-410-13/NTC 673:2021)														
Slump (in)	Resistencia de Diseño	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Edad de Fallo	Longitud Promedio (mm)	Diámetro Promedio (mm)	Masa del Cilindro (g)	Densidad (Kg/m ³)	Relación L/D	Carga Máxima (kN)	Esfuerzo (Mpa)	% de Desarrollo	Tipo de Falla	Temperatura Piscina de Curado (°C)
6	21	5/08/2025	12/08/2025	7	202,6	102,8	3694	2198,9	2,0	84,4	10,18	48,5%	5	18
7	21	5/08/2025	12/08/2025	7	203,6	101,6	3616	2190,7	2,0	76,7	9,46	45,0%	5	18
8	21	5/08/2025	12/08/2025	7	204,1	101,5	3684	2230,8	2,0	78,1	9,65	46,0%	5	18
6	21	5/08/2025	19/08/2025	14	202,7	101,4	3628	2216,4	2,0	100,7	12,47	59,4%	4	20
7	21	5/08/2025	19/08/2025	14	204,9	101,9	3676	2200,4	2,0	104,7	12,84	61,1%	2	20
8	21	5/08/2025	19/08/2025	14	205,2	101,9	3678	2200,5	2,0	107,9	13,24	63,0%	4	20
6	21	5/08/2025	2/09/2025	28	205,2	102,3	3708	2199,0	2,0	140,2	17,06	81,2%	4	20
6	21	5/08/2025	2/09/2025	28	202,5	101,6	3598	2192,1	2,0	130,4	16,08	76,6%	4	20
6	21	5/08/2025	2/09/2025	28	201,9	100,2	3500	2201,1	2,0	143,5	18,22	86,8%	5	20
7	21	5/08/2025	2/09/2025	28	203,7	101,8	3654	2203,9	2,0	135,5	16,65	79,3%	2	20
7	21	5/08/2025	2/09/2025	28	203,4	101,8	3600	2177,2	2,0	134,5	16,54	78,8%	2	20
8	21	5/08/2025	2/09/2025	28	203,5	102,1	3666	2200,9	2,0	142,9	17,45	83,1%	4	20
8	21	5/08/2025	2/09/2025	28	203,8	101,9	3668	2209,6	2,0	142,3	17,47	83,2%	4	20
6	21	5/08/2025	9/09/2025	35	203,9	103,2	3754	2203,7	2,0	155,3	18,58	88,5%	5	20
6	21	5/08/2025	9/09/2025	35	203,5	102,4	3710	2216,4	2,0	154,8	18,82	89,6%	4	20
7	21	5/08/2025	9/09/2025	35	202,7	101,7	3610	2193,0	2,0	152,9	18,82	89,6%	5	20
7	21	5/08/2025	9/09/2025	35	204,2	102,3	3712	2214,3	2,0	155,1	18,89	90,0%	4	20
7	21	5/08/2025	9/09/2025	35	203,3	102,2	3708	2225,5	2,0	155,1	18,93	90,1%	2	20
8	21	5/08/2025	9/09/2025	35	201,2	103,1	3668	2185,8	2,0	163,4	19,59	93,3%	2	20
8	21	5/08/2025	9/09/2025	35	203,0	102,0	3620	2185,0	2,0	155,8	19,09	90,9%	2	20
6	21	5/08/2025	16/09/2025	42	203,6	101,6	3660	2217,9	2,0	173,0	21,34	101,6%	2	19
6	21	5/08/2025	16/09/2025	42	204,5	103,0	3762	2207,8	2,0	172,7	20,73	98,7%	3	19
7	21	5/08/2025	16/09/2025	42	201,9	101,6	3658	2237,0	2,0	171,6	21,19	100,9%	2	19
7	21	5/08/2025	16/09/2025	42	203,4	102,7	3638	2161,2	2,0	172,4	20,83	99,2%	3	19
8	21	5/08/2025	16/09/2025	42	203,3	101,5	3668	2230,4	2,0	171,9	21,24	101,1%	3	19
8	21	5/08/2025	16/09/2025	42	203,5	101,2	3642	2227,7	2,0	170,1	21,17	100,8%	3	19
8	21	5/08/2025	16/09/2025	42	203,4	102,6	3644	2166,9	2,0	169,2	20,47	97,5%	3	19

Nota. Elaboración Propia.

Figura 35.

Resultados registrados de Resistencia a la Compresión de la mezcla de concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.

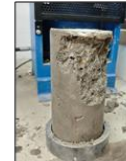
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CLINDROS DE CONCRETO (NTC 673:2021)														
Slump (in)	Resistencia de Diseño	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Edad de Fallo	Longitud Promedio (mm)	Diámetro Promedio (mm)	Masa del Cilindro (g)	Densidad (Kg/m³)	Relación L/D	Carga Máxima (kN)	Esfuerzo (Mpa)	% de Desarrollo	Tipo de Falla	Temperatura Piscina de Curado (°C)
5,8	21	24/07/2025	31/07/2025	7	200,9	100,1	3488	2208,4	2,0	48,8	6,21	29,6%	5	18
6,9	21	24/07/2025	31/07/2025	7	204,9	101,9	3638	2179,8	2,0	40,5	4,97	23,7%	5	18
7,6	21	24/07/2025	31/07/2025	7	202,2	102,0	3628	2198,5	2,0	47,1	5,77	27,5%	5	18
5,8	21	24/07/2025	7/08/2025	14	203,5	101,1	3622	2217,1	2,0	84,2	10,49	50,0%	5	20
6,9	21	24/07/2025	7/08/2025	14	207,0	101,9	3682	2181,1	2,0	69,1	8,47	40,3%	5	20
7,6	21	24/07/2025	7/08/2025	14	205,0	101,9	3680	2203,3	2,0	78,4	9,62	45,8%	5	20
5,8	21	24/07/2025	21/08/2025	28	202,4	101,8	3606	2191,6	2,0	100,6	12,37	58,9%	3	19
5,8	21	24/07/2025	21/08/2025	28	203,3	101,9	3638	2197,0	2,0	100,3	12,31	58,6%	4	19
5,8	21	24/07/2025	21/08/2025	28	203,1	102,6	3700	2205,6	2,0	102,7	12,43	59,2%	2	19
6,9	21	24/07/2025	21/08/2025	28	203,6	102,1	3628	2179,1	2,0	97,9	11,97	57,0%	2	19
6,9	21	24/07/2025	21/08/2025	28	202,9	101,8	3610	2186,5	2,0	97,8	12,02	57,2%	2	19
7,6	21	24/07/2025	21/08/2025	28	203,2	102,5	3702	2207,9	2,0	91,5	11,09	52,8%	2	19
7,6	21	24/07/2025	21/08/2025	28	202,9	102,3	3602	2161,9	2,0	90,6	11,03	52,5%	2	19
5,8	21	24/07/2025	28/08/2025	35	201,8	100,9	3588	2224,2	2,0	108,6	13,58	64,7%	2	19
5,8	21	24/07/2025	28/08/2025	35	203,7	101,5	3656	2220,9	2,0	110,6	13,68	65,1%	2	19
6,9	21	24/07/2025	28/08/2025	35	202,8	101,3	3584	2194,9	2,0	114,5	14,22	67,7%	3	19
6,9	21	24/07/2025	28/08/2025	35	203,1	101,4	3592	2190,1	2,0	99,9	12,37	58,9%	2	19
6,9	21	24/07/2025	28/08/2025	35	200,3	102,4	3638	2205,4	2,0	108,1	13,13	62,5%	2	19
7,6	21	24/07/2025	28/08/2025	35	203,4	101,7	3636	2202,8	2,0	97,7	12,04	57,3%	2	19
7,6	21	24/07/2025	28/08/2025	35	201,5	102,5	3602	2168,5	2,0	102,8	12,47	59,4%	4	19
5,8	21	24/07/2025	4/09/2025	42	204,5	102,4	3708	2204,4	2,0	123,2	14,97	71,3%	4	20
5,8	21	24/07/2025	4/09/2025	42	203,5	102,7	3720	2209,4	2,0	119,4	14,43	68,7%	4	20
6,9	21	24/07/2025	4/09/2025	42	203,3	101,0	3598	2211,2	2,0	124,7	15,58	74,2%	3	20
6,9	21	24/07/2025	4/09/2025	42	204,0	101,9	3644	2192,5	2,0	123,2	15,12	72,0%	2	20
7,6	21	24/07/2025	4/09/2025	42	203,0	103,1	3638	2146,6	2,0	107,9	12,92	61,5%	2	20
7,6	21	24/07/2025	4/09/2025	42	203,4	101,3	3574	2182,9	2,0	107,8	13,39	63,8%	2	20
7,6	21	24/07/2025	4/09/2025	42	203,5	102,5	3642	2169,4	2,0	104,3	12,64	60,2%	2	20

Nota. Elaboración Propia.

Conocidos los patrones de falla, se realizó el registro del tipo de falla en las tablas anteriores y acompañado de su respectiva imagen fotográfica cada uno de los especímenes de concreto elaborados en los diseños planteados (Figura 36, Figura 37 y Figura 38).

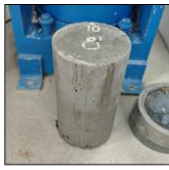
Figura 36.

Registros fotográficos de los especímenes de concreto convencional después de ensayo a compresión.

EDAD DE ENSAYO 7 DÍAS			EDAD DE ENSAYO 14 DÍAS	
				
ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 5,5"	ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 5,5"
EDAD DE ENSAYO 14 DÍAS			EDAD DE ENSAYO 28 DÍAS	
				
ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 5,5"	ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 5,5"
EDAD DE ENSAYO 28 DÍAS			EDAD DE ENSAYO 35 DÍAS	
				
ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 3"
EDAD DE ENSAYO 35 DÍAS			EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS	
				
ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 5,5"	ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 7"
EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS			EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS	
				
ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 5,5"	ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 5,5"
EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS				
				
	ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 7"		ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 7"	

Nota. Elaboración Propia.

Figura 37.
Registros fotográficos de los especímenes de concreto con reemplazo del 10% de cemento con hueso bovino calcinado.

EDAD DE ENSAYO 7 DÍAS					EDAD DE ENSAYO 14 DÍAS				
									
ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 6"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 8"	ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 6"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 7"					
EDAD DE ENSAYO 14 DÍAS					EDAD DE ENSAYO 28 DÍAS				
									
ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 8"	ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 6"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 6"	ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 7"					
EDAD DE ENSAYO 28 DÍAS					EDAD DE ENSAYO 35 DÍAS				
									
ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 8"	ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 8"	ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 8"	ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 6"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 6"					
EDAD DE ENSAYO 35 DÍAS					EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS				
									
ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 8"	ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 8"					
EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS					EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS				
									
ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 6"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 6"	ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 8"					
					EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS				
									
					ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 8"				
									
					ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 8"				

Nota. Elaboración Propia.

Figura 38.
Registros fotográficos de los especímenes de concreto con reemplazo del 15% de cemento con hueso bovino calcinado.

EDAD DE ENSAYO 7 DÍAS			EDAD DE ENSAYO 14 DÍAS		
					
ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 5,8"			ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 6,9"		
ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 6,9"			ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 7,6"		
ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 5,8"			ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 6,9"		
EDAD DE ENSAYO 14 DÍAS			EDAD DE ENSAYO 28 DÍAS		
					
ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 7,6"			ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 5,8"		
ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 5,8"			ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 5,8"		
ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 5,8"			ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 6,9"		
EDAD DE ENSAYO 28 DÍAS			EDAD DE ENSAYO 35 DÍAS		
					
ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 6,9"			ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 7,6"		
ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 7,6"			ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 7,6"		
ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 5,8"			ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 5,8"		
EDAD DE ENSAYO 35 DÍAS			EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS		
					
ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 6,9"			ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 6,9"		
ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 6,9"			ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 6,9"		
ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 7,6"			ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 7,6"		
EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS			EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS		
					
ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 5,8"			ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 5,8"		
ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 6,9"			ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 6,9"		
ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 7,6"			ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 7,6"		

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Agregados Pétreos

Establecer los criterios de aceptación de los agregados usados en las mezclas de concreto corresponde teóricamente un factor indispensable para garantizar el rendimiento adecuado de este componente en la obra a la cual va a estar diseñado. Por ende, en el presente apartado se compararán los resultados obtenidos en los ensayos de caracterización con respecto a los criterios establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 174 para la composición granulométrica, y en los capítulos 630 y 800 de las especificaciones INVIA 2022 y ET-IC-01 respectivamente, para las otras características de los agregados del diseño de concreto.

6.1.1 Composición Granulométrica

La Norma Sismo Resistente en el Título C.3.3 (Asociación colombiana de ingeniería sísmica, 2010) y la especificación del IDU capítulo 800.2 del 2018 (Instituto de Desarrollo Urbano, 2018) establecen que los agregados pétreos deben regir su distribución granulométrica bajo límites granulométricos, según los tamaños de las partículas determinadas en los ensayos anteriormente mencionados, y los cuales están fundamentados en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 174. Por lo anterior, se determinó las siguientes tolerancias tanto para el Agregado Fino (Figura 39) como para el Agregado Grueso (Figura 40).

Figura 39.*Límites granulométricos del Agregado Fino.*

Tamiz (NTC 32)	Porcentaje que pasa (%)
9,5 mm (3/8 de pulgada)	100
4,75 mm (No. 4)	95 - 100
2,36 mm (No. 8)	80 - 100
1,18 mm (No. 16)	50 - 85
600 μ m (No. 30)	25 - 60
300 μ m (No. 50)	5 - 30
150 μ m (No. 100)	0 - 10
75 μ m (No. 200)	0 - 3 ^{A, B}

Nota. Tomado de. ICONTEC. (2018). Norma Técnica Colombiana (NTC) 174: Especificación de los agregados para concreto. Tabla N°1. Granulometría para agregados finos. República de Colombia.

Figura 40.*Límites granulométricos del Agregado Grueso.*

Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguientes tamices (porcentaje en masa)													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 μm
4	37,5 mm a 19,0 mm	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37,5 mm a 4,75 mm (No. 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25,0 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25,0 mm a 4,75 mm (No. 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19,0 mm a 4,75 mm (No. 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12,5 mm a 4,75 mm (No. 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-

Nota. Tomado de. ICONTEC. (2018). Norma Técnica Colombiana (NTC) 174: Especificación de los agregados para concreto. Tabla N°3. Requisitos de gradación para agregado grueso. República de Colombia.

Resaltando que el agregado pétreo fue suministrado por el laboratorio de la Universidad La Gran Colombia, este cumple en la mayor parte de los límites granulométricos de la especificación NTC 174, lo cual garantiza un desempeño adecuado de las partículas en el concreto de diseño.

Adicionalmente, estos procedimientos de ensayo permitieron identificar el Módulo de Finura en el agregado fino, el cual, determina que tan fina o que tan gruesa es una arena y que corresponde a la suma de los porcentajes retenidos acumulados desde el tamiz 4.75 mm (N°4) hasta el tamiz 150 μ m (tamiz N°100) en una relación de incremento de 1:2, obteniendo un valor adecuado de 2.8 contemplando que la especificación NTC 174 asigna una tolerancia entre 2.3 y 3.1.

6.1.2 Limpieza

Los resultados obtenidos, garantizan una limpieza adecuada en el agregado fino usado para el diseño de la mezcla de concreto proporcionando una compatibilidad apropiada agregado-pasta de cemento en busca de un desempeño acorde al uso del concreto en obra. Estos valores cumplen con los criterios establecidos en la especificación ET-IC-01 IDU 2018 (Figura 41).

Figura 41.

Límites granulométricos del Agregado Grueso.

Límite Líquido, % máximo	INV E 125-13	No plástico
Índice de Plasticidad, % máximo	INV E 126-13	No plástico
Equivalente de Arena, % mínimo	INV E 133-13	60

Nota. Tomada de. Instituto de Desarrollo Urbano. (2018). ET-IC-01 Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y espacio público de Bogotá D.C. Capítulo 800-18 Pavimentos de concreto hidráulico. Tabla 800.3 Requisitos del agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico. República de Colombia.

6.1.3 Dureza

Estos datos obtenidos van alineados con los requerimientos de dureza que solicita tanto la especificación INVIAS 2022 capítulo 630 (Instituto Nacional de Vías, 2022) (Figura 42), como los establecidos por el IDU capítulo 800-18 (Instituto de Desarrollo Urbano, 2018) (Figura 43).

Figura 42.

Requerimientos de dureza en especificación INVIAS 2022.

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%):	E-218	
- En seco, 500 revoluciones, máximo (%)		40
- En seco, 100 revoluciones, máximo (%)		8

Nota. Tomado de. Instituto Nacional de Vías. (2022). Especificaciones Generales de Construcción de carreteras. Capítulo 630 Estructuras y Drenaje. Tabla N°630-3 Requisitos del agregado grueso para concreto estructural. República de Colombia.

Figura 43.

Requerimientos de dureza en especificación IDU 2018.

Ensayo		Norma de Ensayo	Requisitos por Categoría de Tránsito		
			T1	T2	T3
Dureza					
Desgaste Los Angeles	En seco, 500 revoluciones, % máximo	INV E 218-13	35	35	30
Micro Deval, % máximo		INV E 238-13	30	25	25

Nota. Tomada de. Instituto de Desarrollo Urbano. (2018). ET-IC-01 Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y espacio público de Bogotá D.C. Capítulo 800-18 Pavimentos de concreto hidráulico. Tabla 800.1 Requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico. República de Colombia.

Los anteriores parámetros establecidos por estas dos entidades gubernamentales permiten garantizar la debida caracterización mecánica de los componentes que se van a utilizar para los diferentes concretos utilizados bajo condiciones de diseño y colocación “in situ”, por ende, el agregado grueso utilizado en la presente investigación es el adecuado para obtener una mezcla de concreto con altos estándares de calidad.

6.1.4 Geometría de las Partículas

Estas características geométricas están requeridas en las especificaciones INVIAS 2022 capítulo 630 (Instituto Nacional de Vías, 2022) (Figura 44), como los establecidos por el IDU capítulo 800-18 (Instituto de Desarrollo Urbano, 2018) (Figura 45).

Figura 44.

Requerimientos de la geometría de las partículas en la especificación INVIAS 2022.

Geometría de las partículas (F)		
Índice de alargamiento, máximo (%)	E-230	25
Índice de aplanamiento, máximo (%)	E-230	25

Nota. Tomado de. Instituto Nacional de Vías. (2022). Especificaciones Generales de Construcción de carreteras. Capítulo 630 Estructuras y Drenaje. Tabla N°630-3 Requisitos del agregado grueso para concreto estructural. República de Colombia.

Figura 45.

Requerimientos de la geometría de las partículas en la especificación IDU 2018.

Geometría de las Partículas					
Partículas Fracturadas Mecánicamente, % mínimo	1 cara	INVE 227-13 ASTM D5821	75	75	90
	2 caras		50	50	75

Nota. Tomada de. Instituto de Desarrollo Urbano. (2018). ET-IC-01 Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y espacio público de Bogotá D.C. Capítulo 800-18 Pavimentos de concreto hidráulico. Tabla 800.1 Requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico. República de Colombia.

Según lo establecido en las anteriores especificaciones, el agregado cumple el parámetro de uniformidad cúbica en las partículas, sin embargo, la forma aplanada como alargada de estas no es la adecuada para un concreto usado para estructuras de concreto en la construcción de carreteras. Es de resaltar que esta característica de los agregados presenta deficiencia en este tipo de estructuras debido a la generación de vacíos con aire que debilitan la resistencia del concreto durante su proceso de colocación “in situ” (Sánchez, D. 2001).

6.2 Cemento y hueso bovino

Se identificó que los resultados obtenidos correspondientes a la densidad del cemento de Tipo UG (Uso General) con procedencia de Argos, están dentro de los límites de tolerancia establecidos teóricamente, los cuales están definidos entre 3000 Kg/m^3 y 3150 Kg/m^3 (Matallana, R. 2019). Este valor determinado permite una correcta hidratación de las y garantiza el desempeño esperado por el diseño de concreto convencional establecido.

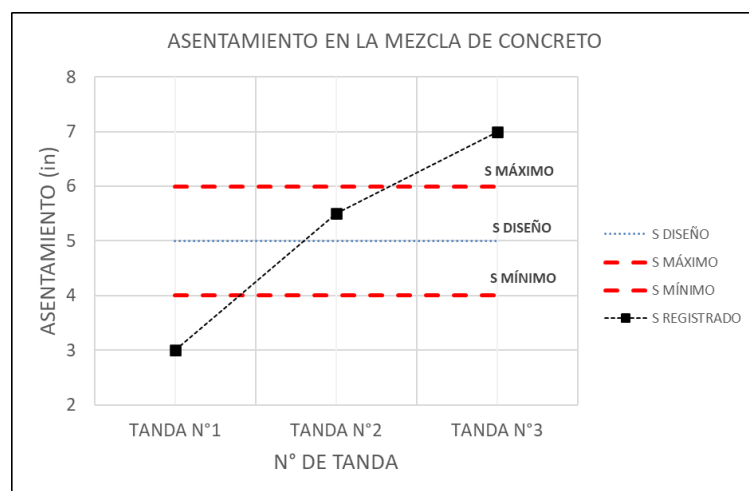
Cabe resaltar que, en paralelo a la caracterización de los componentes del concreto base, se realizaron los ensayos al material cementante que se presenta en esta investigación con el reemplazo parcial del cemento con el 10% y el 15% de hueso bovino calcinado. Estos resultados evidencian una menor densidad en el material en cuestión, lo cual favorece en la reducción de la densidad del concreto diseñado para cada uno de estos valores de sustitución.

6.3 Control de calidad de las mezclas de concreto

Como parte del aseguramiento de los procesos que se establecen durante el diseño y producción de mezclas de concreto, se debe realizar un control riguroso de las condiciones finales de este material con el fin de garantizar el desempeño y durabilidad esperada durante su etapa de puesta en servicio (Matallana, 2019). Estas características finales están definidas por el ensayo de Asentamiento (NTC 369:2024), los cuales fueron realizados para cada tanda de mezcla de concreto de los tres respectivos diseños planteados y evidenciaron una deficiencia en el control del agua de mezclado durante la preparación de los agregados pétreos, debido a que la diferencia en los contenidos de agua y la capacidad de absorción que caracteriza a las partículas determinaron el parámetro de fluidez determinado para cada diseño de mezcla (Figura 46, Figura 47 y Figura 48).

Figura 46.

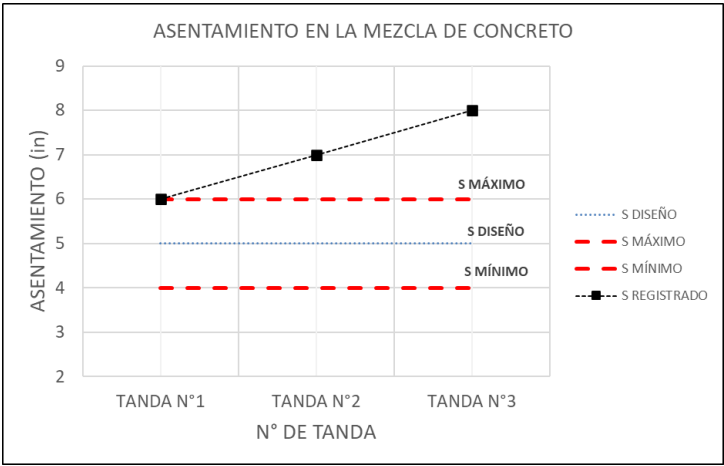
Asentamientos determinados para cada tanda de mezcla en el concreto convencional.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 47.

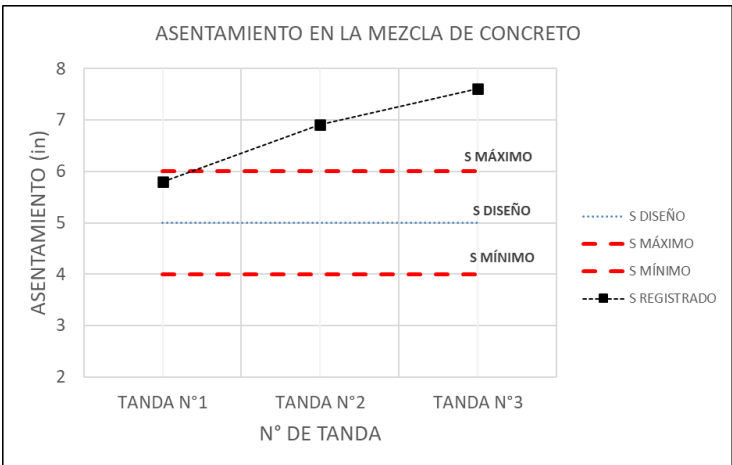
Asentamientos determinados para cada tanda de mezcla en el concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 48.

Asentamientos determinados para cada tanda de mezcla en el concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.



Nota. Elaboración Propia.

Los valores obtenidos permitieron plantear límites de asentamientos, dando versatilidad al uso de las mezclas en diferentes tipos de estructuras y bajo sistemas constructivos diversos (Figura 49).

Figura 49.

Asentamientos determinados para cada tipo de estructura, sistema de colocación y sistema de vibrado.

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzados)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple	Colocación con máquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas, con vibración
Media	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas muros, vigas	Colocación manual	Secciones medianamente reforzadas, sin vibración
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas, sin vibración
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tubo-embudo Tremie	Secciones altamente reforzadas, sin vibración. (Normalmente no adecuados para vibrarse)

Nota. Tomado de. Sánchez, D. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Pontificia Universidad Javeriana. República de Colombia.

El siguiente parámetro fundamental en el control de calidad de mezclas de concreto, es el debido curado de los especímenes el cual rige bajo Normativa Técnica Colombiana (NTC) 3512:2022 Cuartos de mezclado, cámaras y tanques para el almacenamiento de agua, empleados en los ensayos de cementos hidráulicos y concretos. Esta variable se determina bajo condiciones controladas de inmersión en agua en un tanque de almacenamiento de agua con adición de hidróxido de calcio en una proporción

de 3 Gramos/Litro de agua permitiendo la correcta hidratación de las partículas de cemento de los especímenes (ICONTEC. 2022) (Figura 50).

Figura 50.

Tanque de almacenamiento de agua para especímenes de concreto existente en la Universidad La Gran Colombia.



Nota. Elaboración Propia.

Adicional al anterior procedimiento, permitir una correcta hidratación depende de la temperatura a la cual se realiza este proceso, debido a que presentar temperaturas bajas retrasa el proceso de obtención de resistencia y temperaturas altas acelera el proceso, pero reduciendo a mediano y largo plazo el desempeño de la mezcla de concreto (Matallana, R. 2019). Por lo anterior, la norma NTC 3512:2022 determina una temperatura adecuada de curado de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (ICONTEC. 2022) (Figura 51), valor que se tomó previamente al fallo de los especímenes de concreto a las edades determinadas y establecido en las tablas de resultados de resistencia a la compresión.

Figura 51.

Registro de temperatura en el tanque de almacenamiento de agua para especímenes de concreto existente en la Universidad La Gran Colombia.



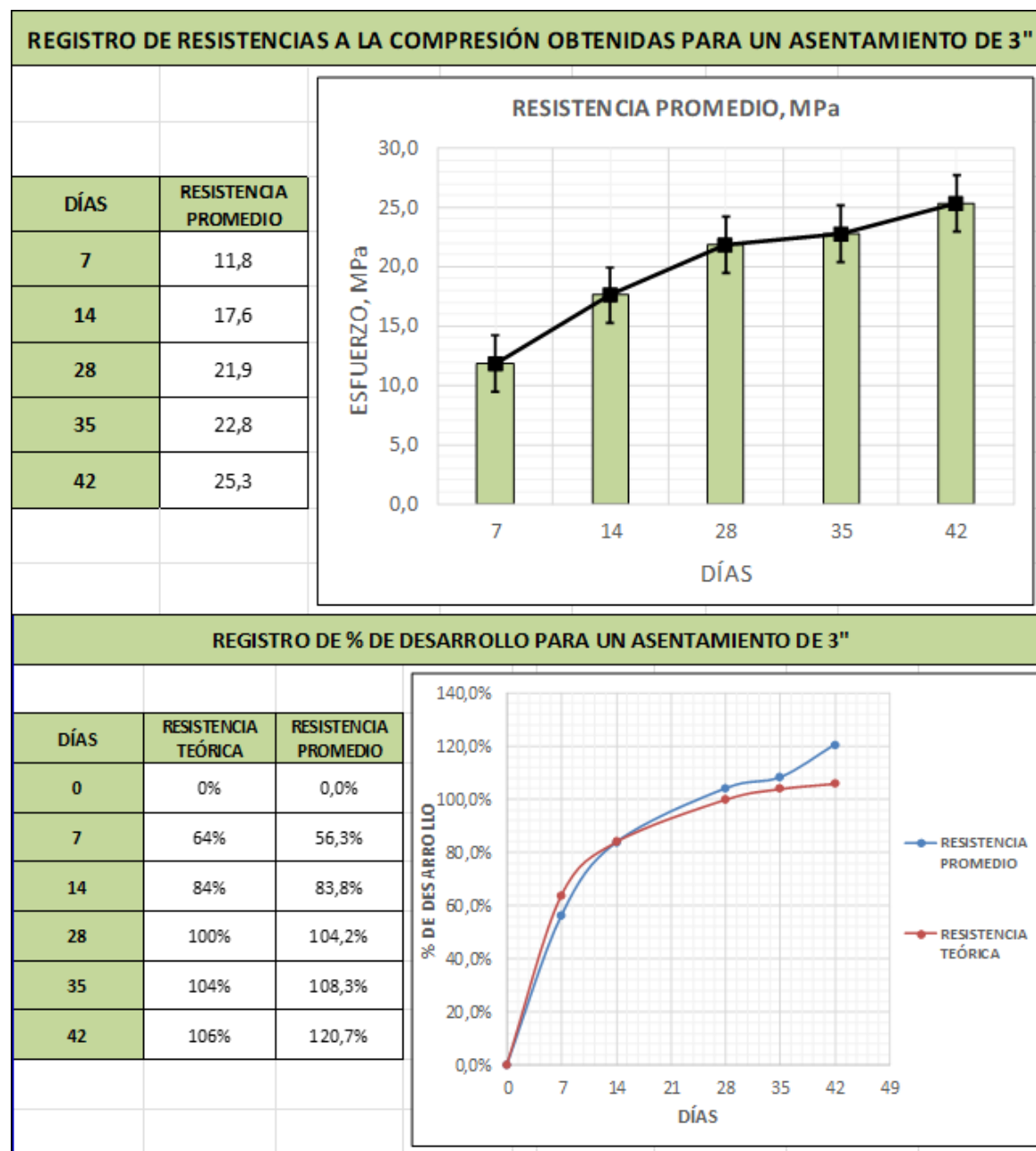
Nota. Elaboración Propia.

6.4 Resistencia a la Compresión

Según los resultados obtenidos en las pruebas de asentamiento realizados para cada tanda de los diseños establecidos, permite agrupar datos de Resistencia a la Compresión (NTC 673:2021) con el fin de determinar la resistencia a la compresión promedio obtenida y el % de desarrollo para cada edad de falla del diseño de mezcla de concreto convencional (Figura 52, Figura 53 y Figura 54).

Figura 52.

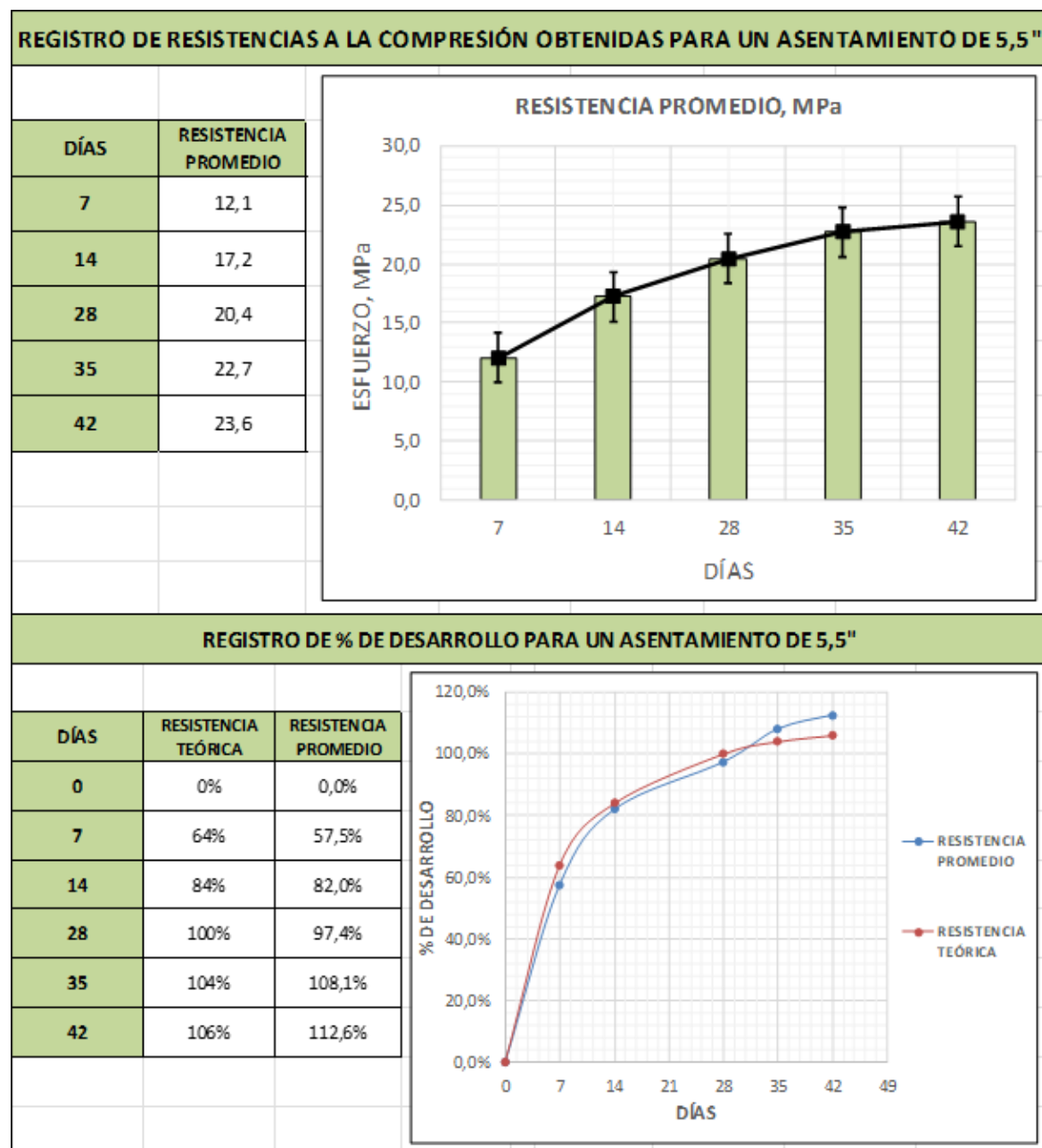
Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto convencional con asentamiento de 3".



Nota. Elaboración Propia.

Figura 53.

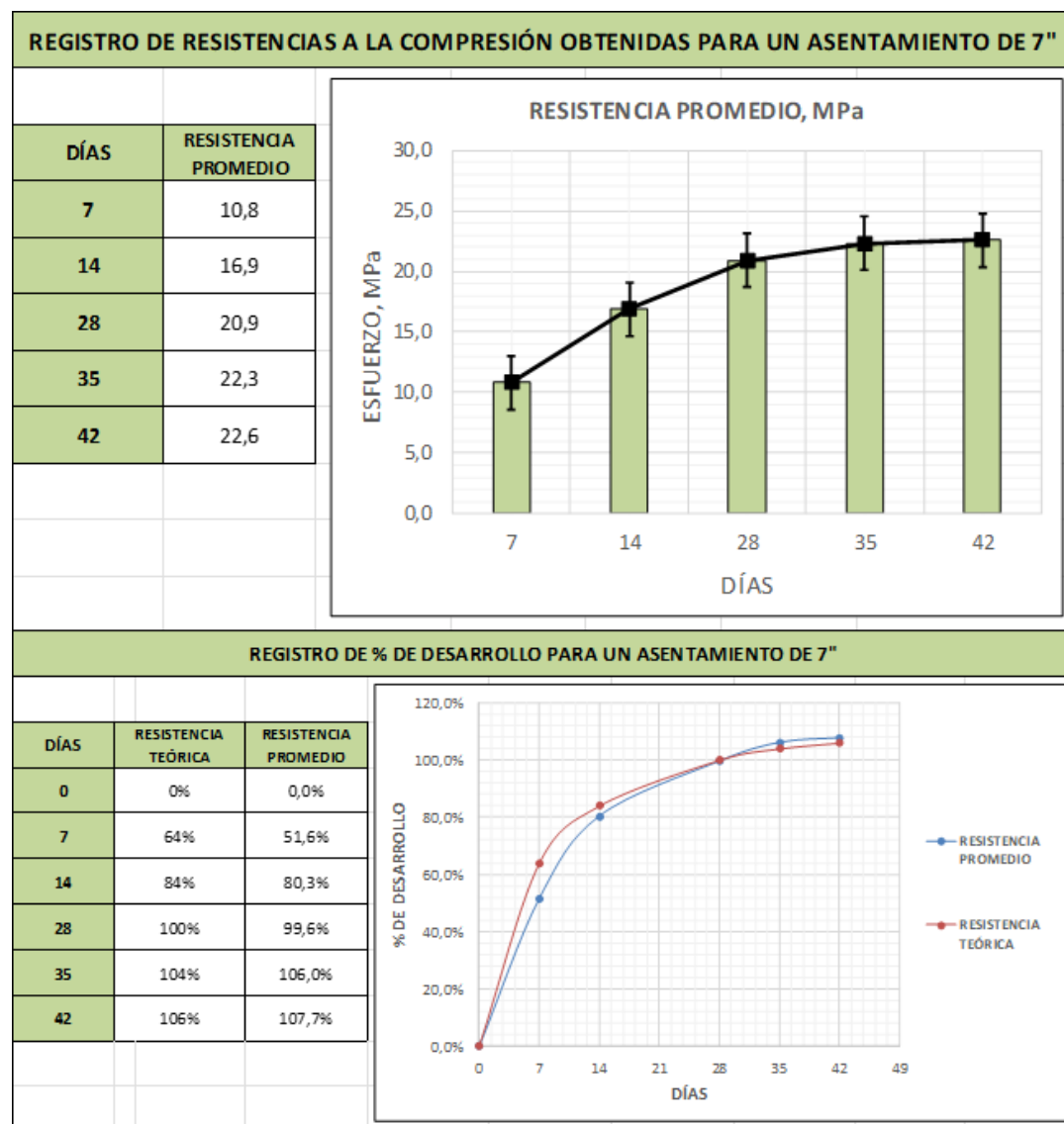
Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto convencional con asentamiento de 5.5".



Nota. Elaboración Propia.

Figura 54.

Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto convencional con asentamiento de 7".



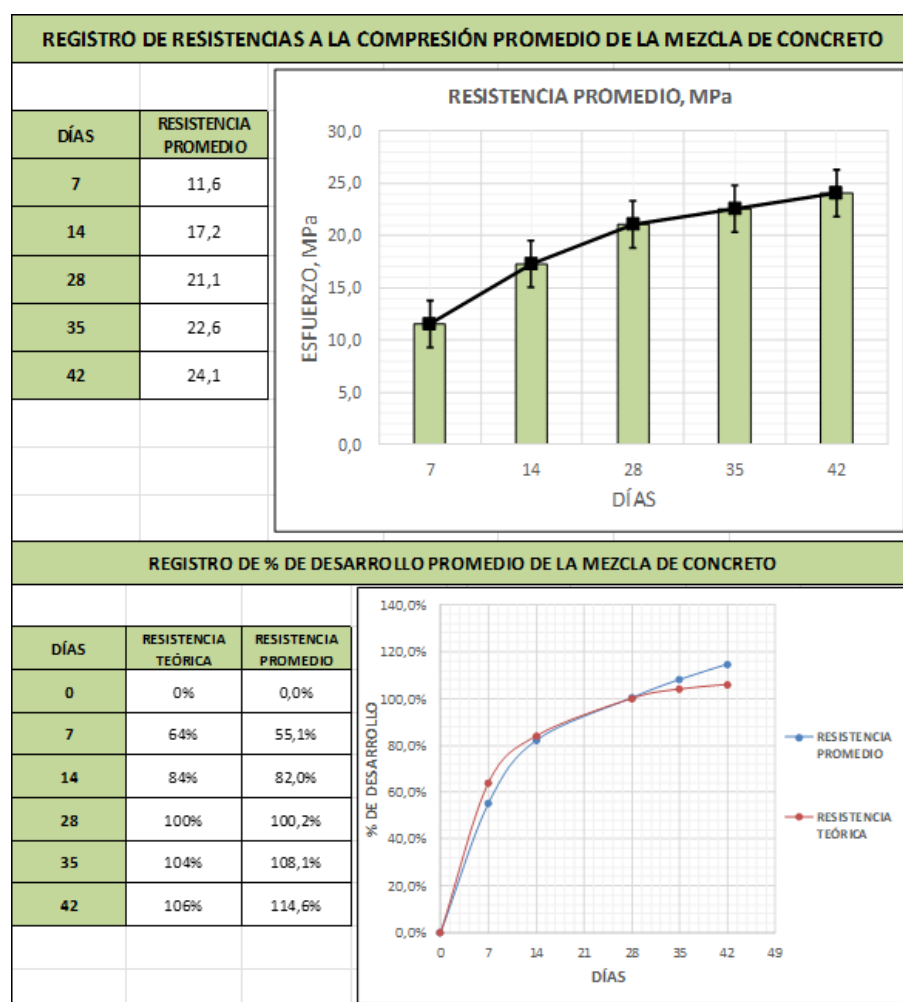
Nota. Elaboración Propia.

Los valores determinados permiten ver la viabilidad de los componentes que se usaron para el diseño de la mezcla convencional de concreto, donde la Resistencia a la Compresión a 28 días obtuvo un

valor promedio de 21 MPa y un % de desarrollo del 100%, datos acordes al parámetro de diseño a la resistencia estipulado durante la etapa de dosificación. De igual manera, se destaca la constante adquisición de resistencia a la compresión a edades posteriores a los 28 días, lo cual garantiza desempeño a largo plazo (Figura 55).

Figura 55.

Valores promedio de Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) de la mezcla de concreto convencional.

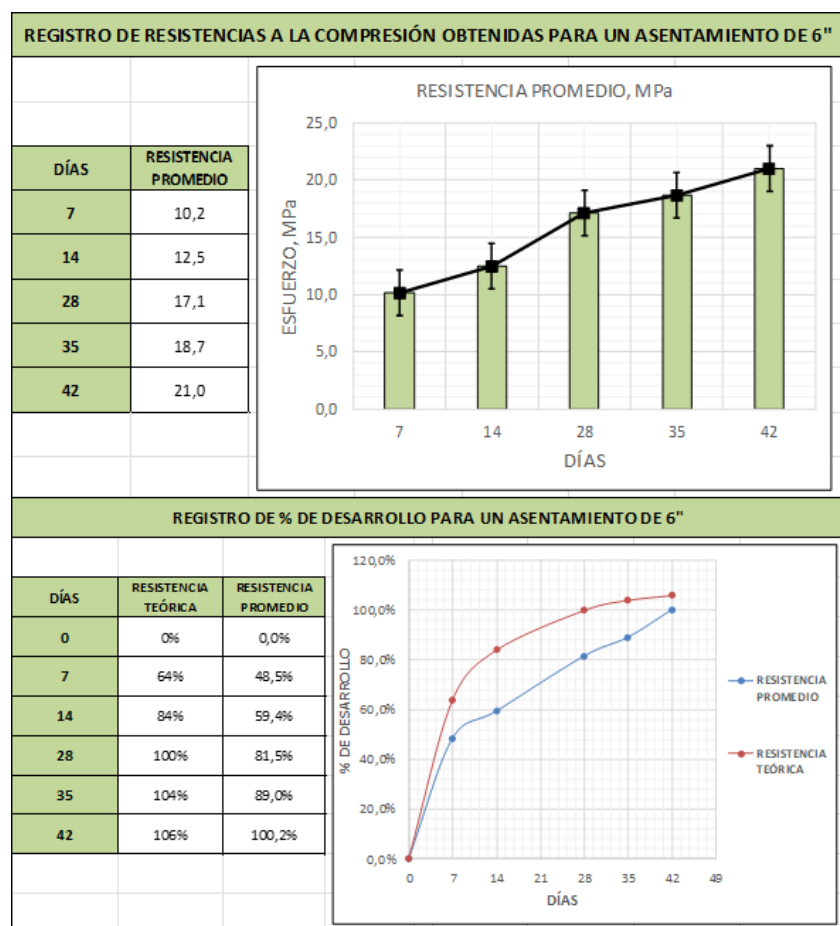


Nota. Elaboración Propia.

Siguiendo el objetivo del presente proyecto, se determinaron los valores correspondientes a la Resistencia a la Compresión junto con el % de Desarrollo de la dosificación de la mezcla de concreto sustituida parcialmente con el 10% en el componente del cemento por hueso bovino calcinado, estos valores se clasificaron de acuerdo con los asentamientos registrados en cada tanda de la mezcla (Figura 56, Figura 57 y Figura 58).

Figura 56.

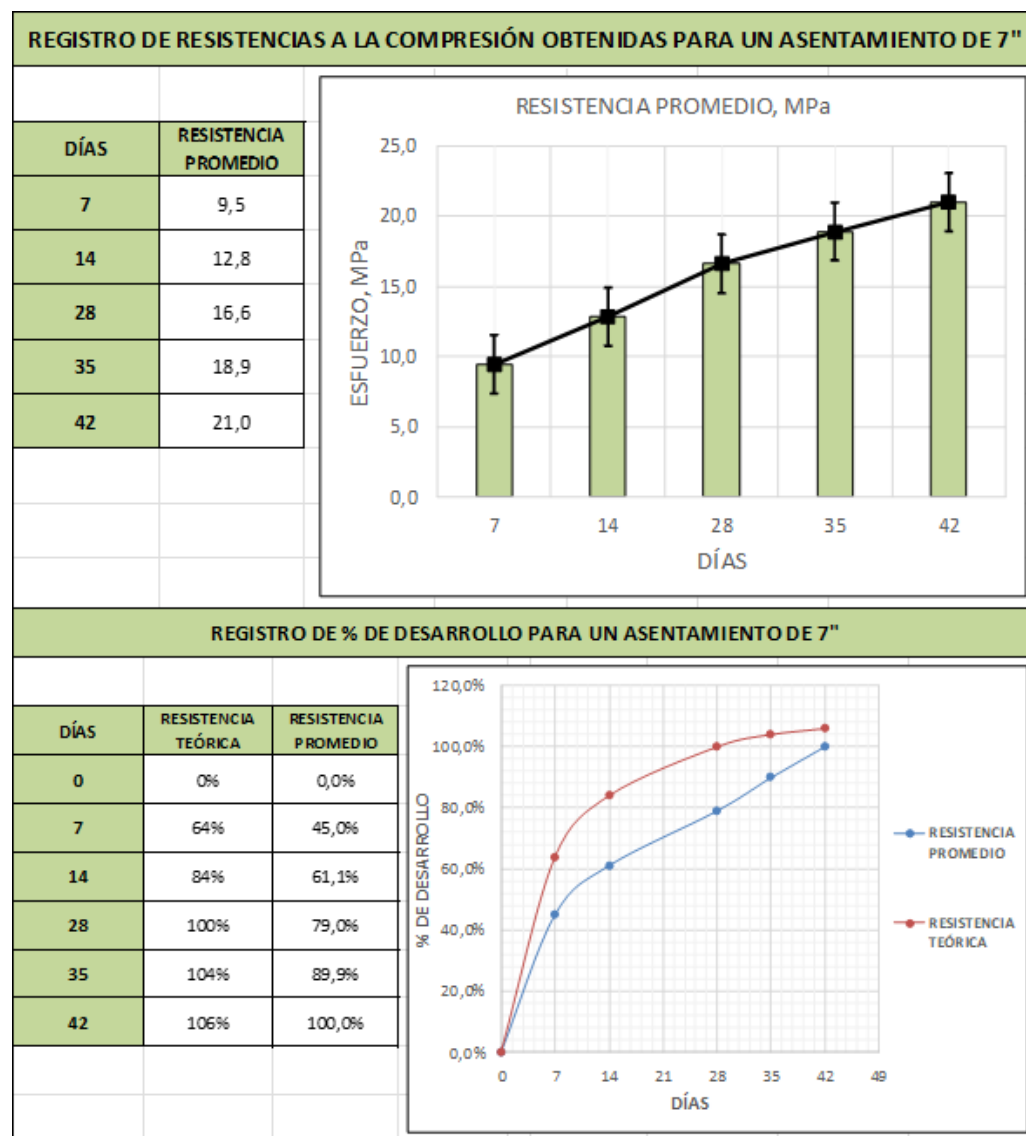
Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado y asentamiento de 6".



Nota. Elaboración Propia.

Figura 57.

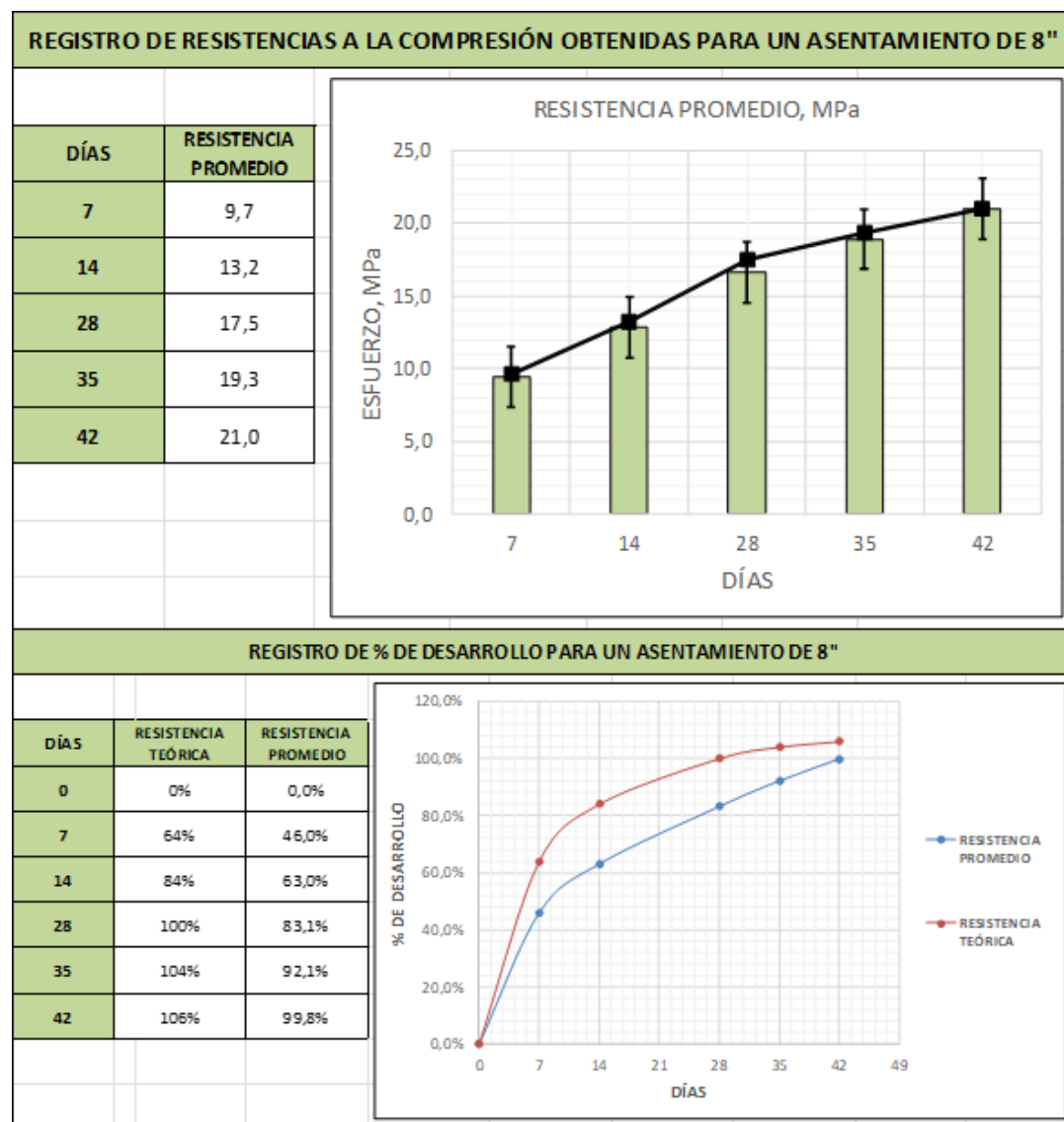
Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado y asentamiento de 7".



Nota. Elaboración Propia.

Figura 58.

Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado y asentamiento de 8".

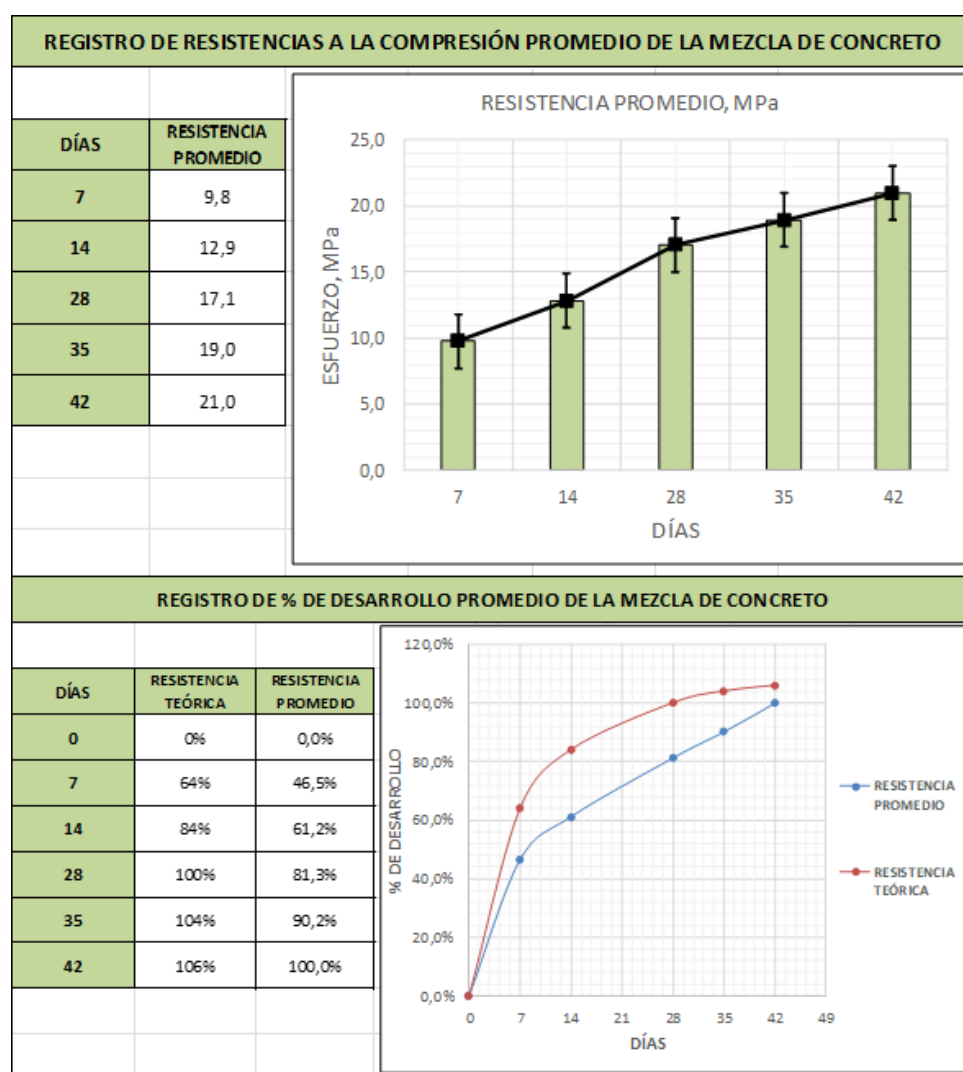


Nota. Elaboración Propia.

Estos datos obtenidos evidencian una deficiencia en la obtención de resistencia a la compresión de los especímenes a la edad de 28 días, sin embargo, los valores promedio de los resultados de este diseño de mezcla presenta viabilidad en su desempeño a edades de 42 días (Figura 59).

Figura 59.

Valores promedio de la Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado.

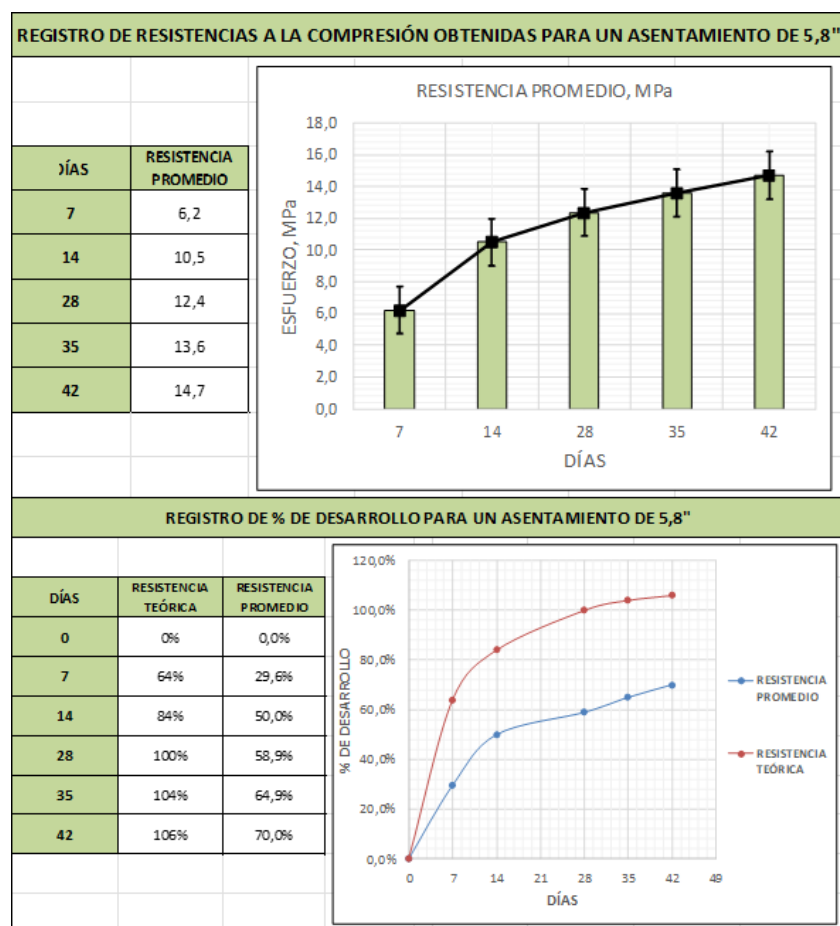


Nota. Elaboración Propia.

Estos resultados deficientes a las primeras edades de falla son acordes a los valores que se presentan en el diseño de mezcla de concreto con el reemplazo del 15% (Figura 60, Figura 61 y Figura 62), los cuales se diferencian con los especímenes elaborados con el 10% de hueso bovino calcinado por no alcanzar la Resistencia a la Compresión a ninguna edad de falla, alcanzando un máximo promedio de 14.2 MPa correspondiente a un 67% de desarrollo (Figura 63).

Figura 60.

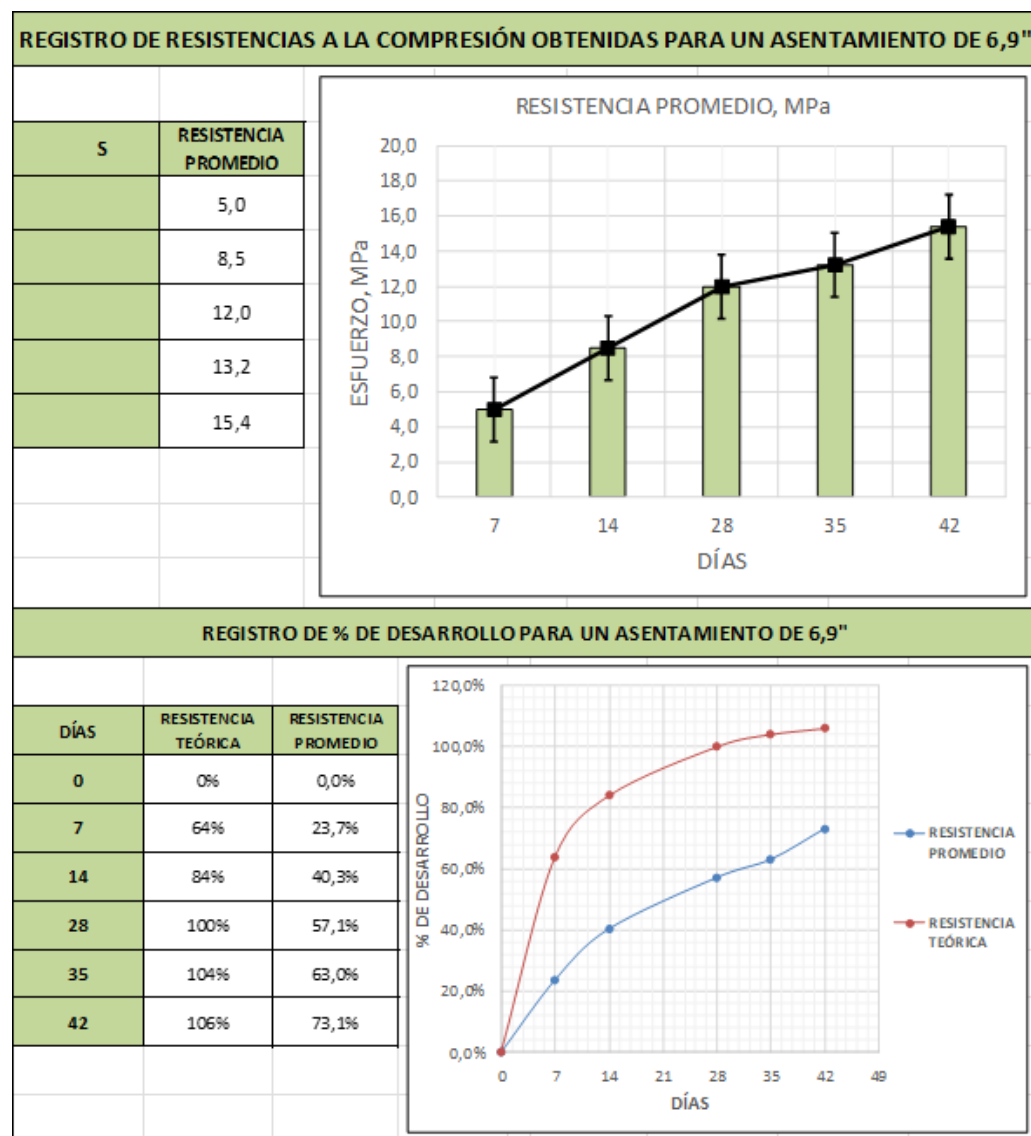
Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado y asentamiento de 5,8".



Nota. Elaboración Propia.

Figura 61.

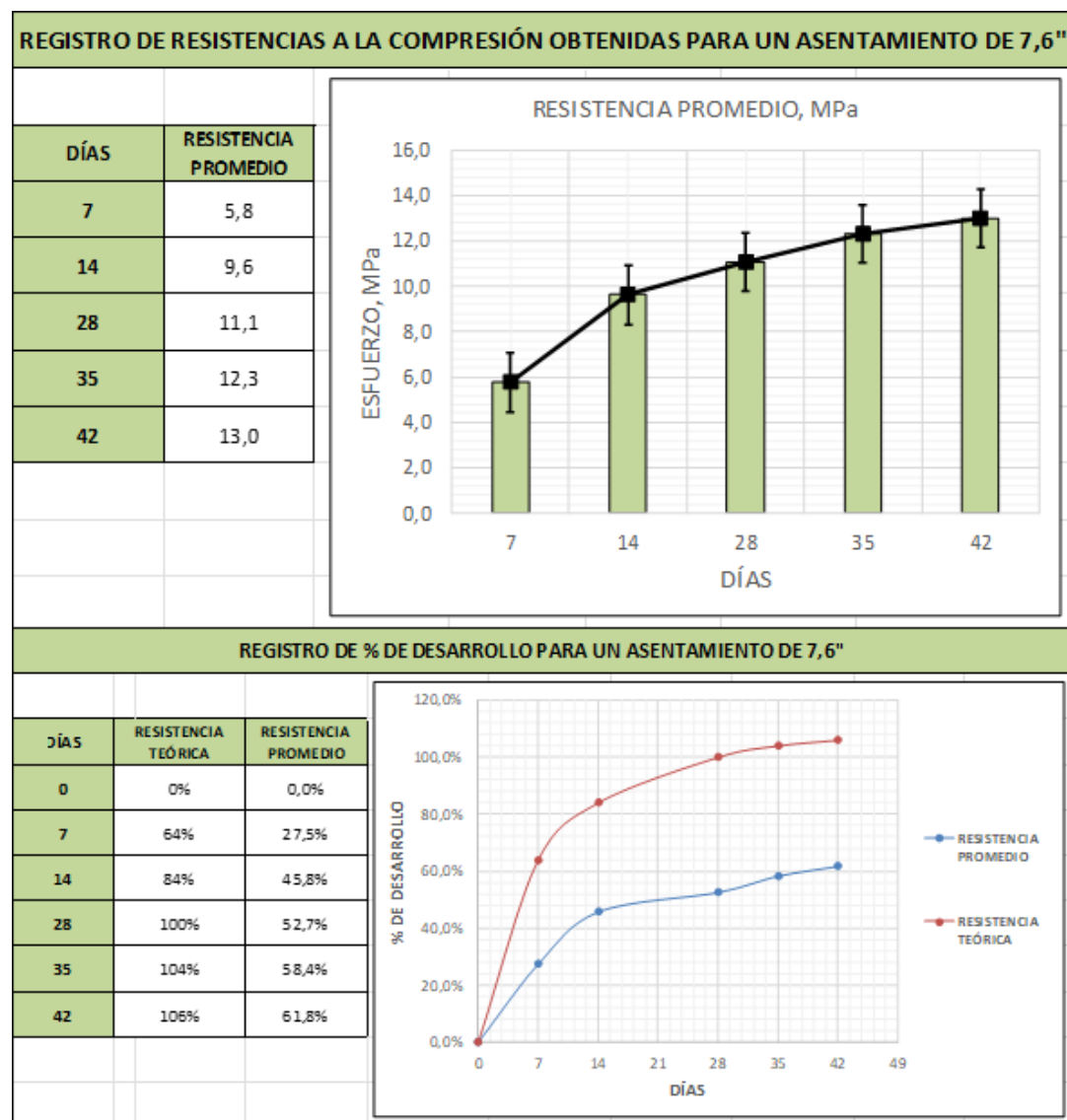
Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado y asentamiento de 6,9".



Nota. Elaboración Propia.

Figura 62.

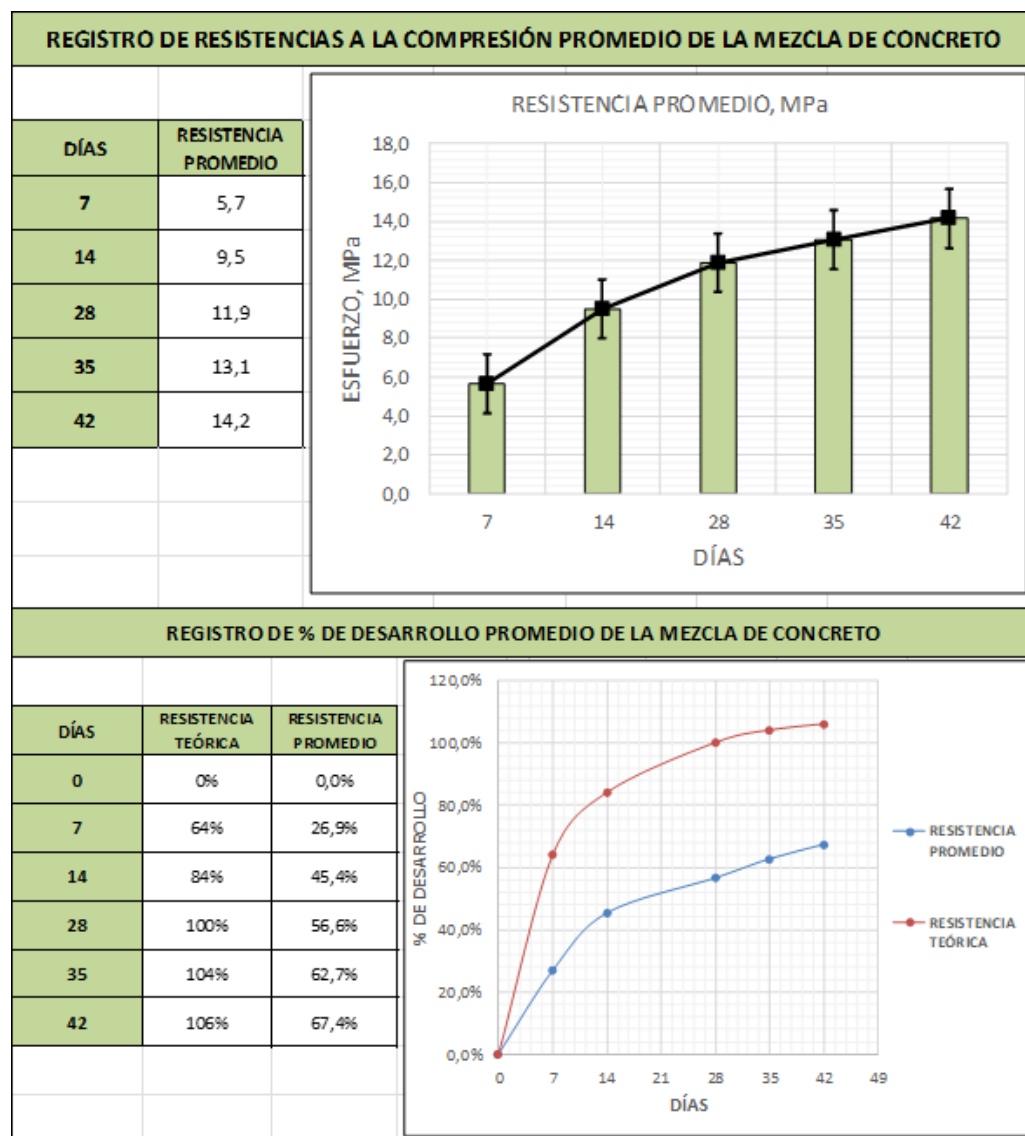
Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado y asentamiento de 7.6".



Nota. Elaboración Propia.

Figura 63.

Valores promedio de la Resistencia a la Compresión (superior) y % de Desarrollo (inferior) para el diseño de mezcla de concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.



Nota. Elaboración Propia.

Los valores obtenidos nos permiten determinar que el diseño que garantiza desempeño adecuado caracterizado por la obtención de la Resistencia a la Compresión de 21 MPa y % de Desarrollo

del 100%, es el diseño de concreto con la sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado donde no se alcanzó el valor de diseño a los 28 días, pero si se logró el desempeño esperado a los 42 días.

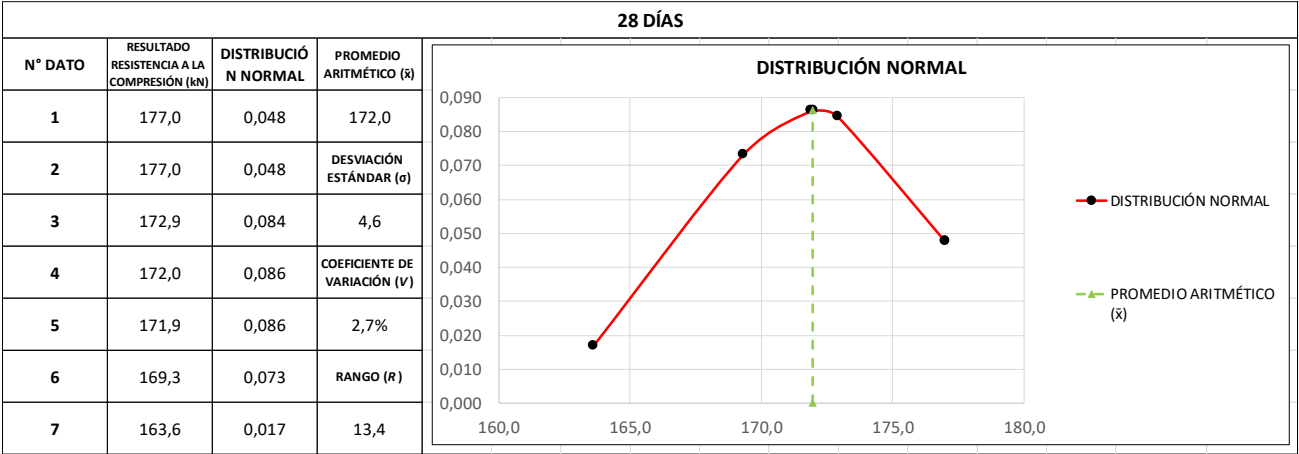
6.5 Análisis Estadístico de los Resultados de Resistencia a la Compresión

El presente apartado está supeditado por lo establecido en el Comité de la ACI 214-11, el cual determina las variaciones que se deben contemplar durante el diseño de mezclas de concreto con el fin de garantizar procesos controlables y con altos estándares de calidad (Matallana, R. 2019). Estos parámetros se basan en los resultados obtenidos en la prueba de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto (NTC 673:2021), los cuales se clasificarán según la edad de falla y que para el presente estudio por la cantidad de especímenes elaborados se registró a los 28, 35 y 42 días.

Durante el diseño de mezclas de concreto, los procesos deben estar regidos con altos estándares de calidad, por ende, la normativa NSR-10 (Título C-Concreto Estructural) determina contemplar los resultados obtenidos de 30 especímenes previamente elaborados para realizar el análisis estadístico en la optimización de los procesos y las mezclas elaboradas a futuro (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 2010). Para este estudio estadístico se realizó la determinación del Promedio Aritmético ($\bar{x}$), la Desviación Estándar (σ), la Distribución Normal, el Coeficiente de Variación (V) y el Rango (R) de los resultados obtenidos a los 28, 35 y 42 días de las dosificaciones de concreto realizadas (concreto convencional -Figura 64, Figura 65 y Figura 66-, concreto con sustitución del 10% de cemento con hueso bovino calcinado -Figura 67, Figura 68 y Figura 69- y concreto con sustitución del 15% de cemento con hueso bovino calcinado -Figura 70, Figura 71 y Figura 72-), entendiendo que son las edades que rigen el desarrollo adecuado de una mezcla de concreto y adicional se cuenta con un número mayor de especímenes elaborados.

Figura 64.

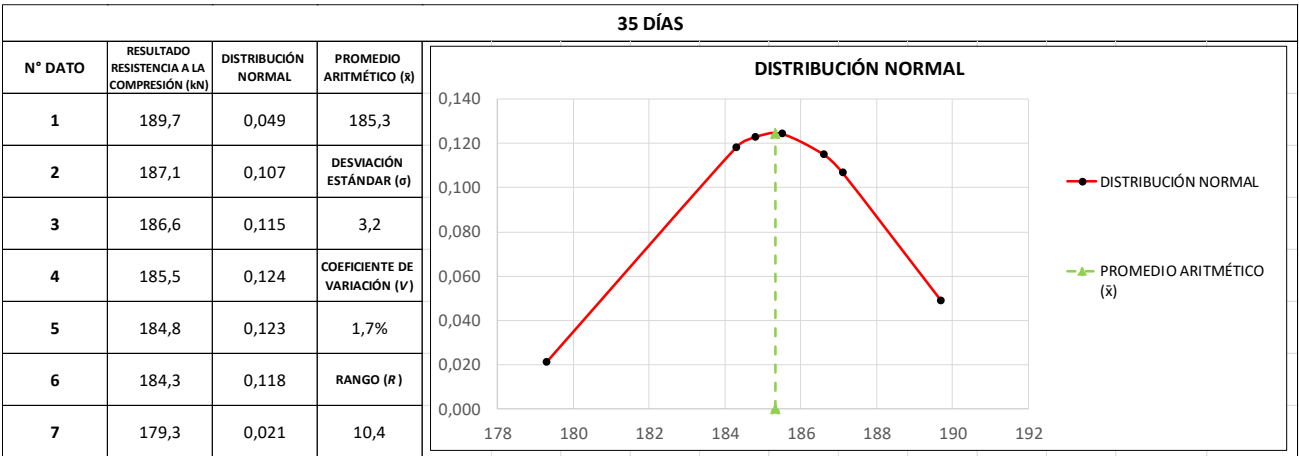
Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 28 días en el concreto convencional.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 65.

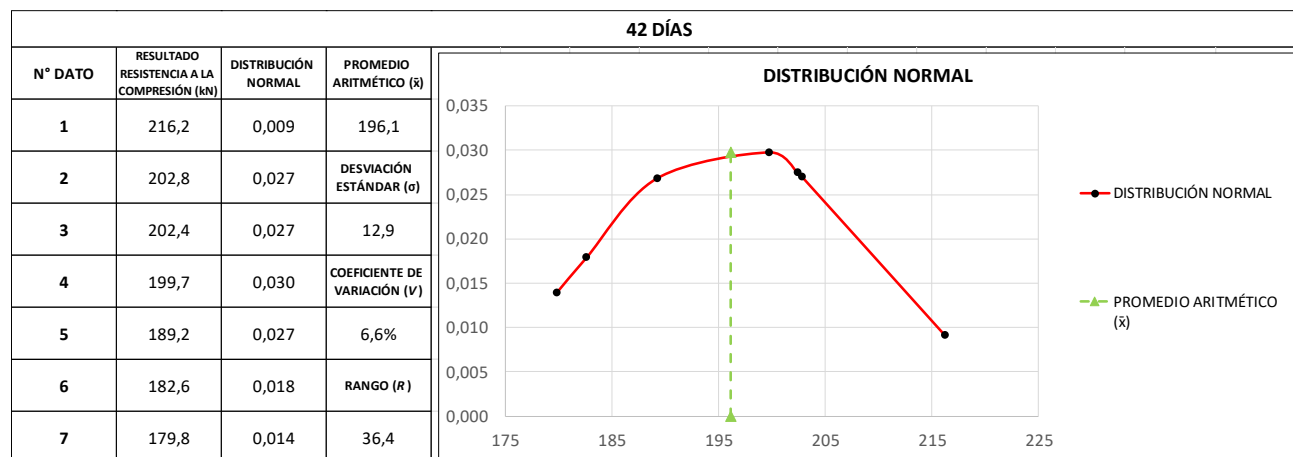
Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 35 días en el concreto convencional.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 66.

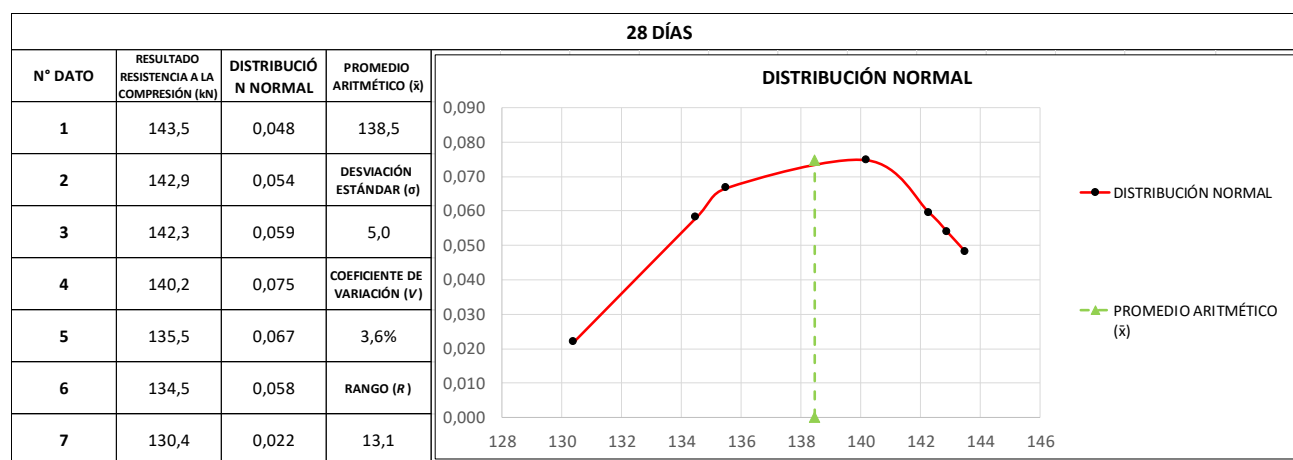
Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 42 días en el concreto convencional.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 67.

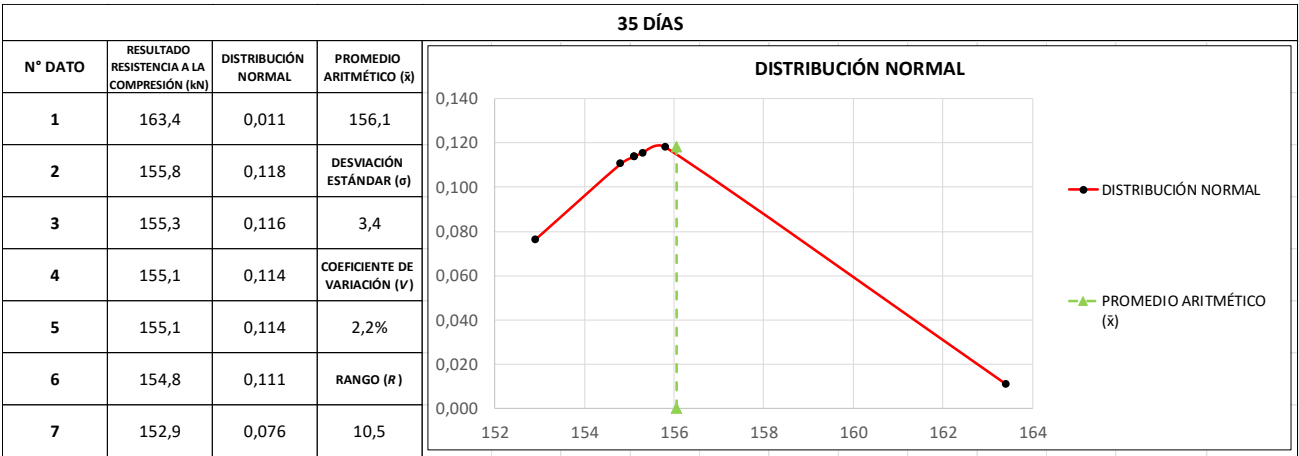
Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 28 días en el concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 68.

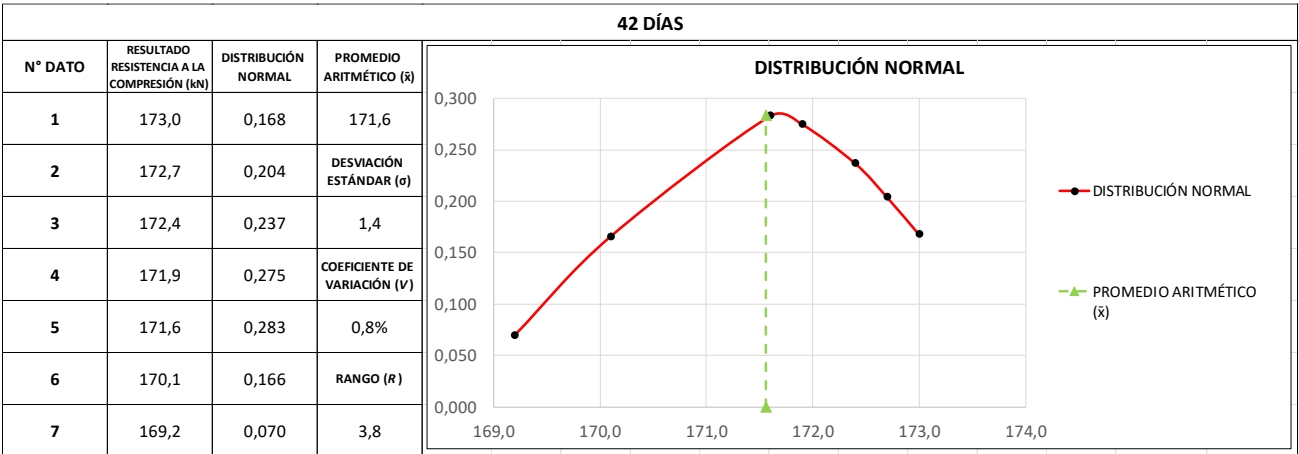
Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 35 días en el concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 69.

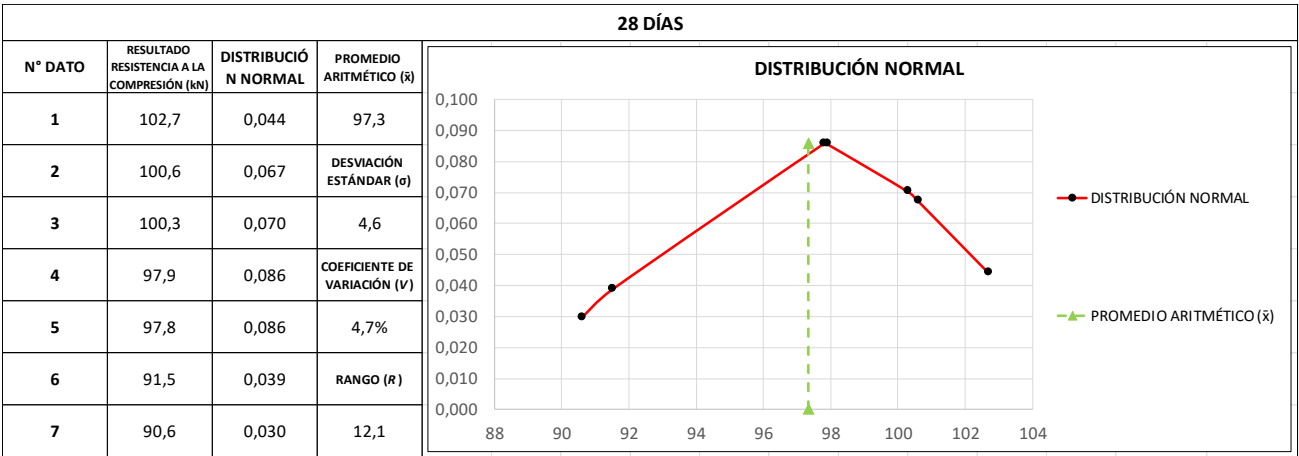
Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 42 días en el concreto con sustitución del 10% de cemento por hueso bovino calcinado.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 70.

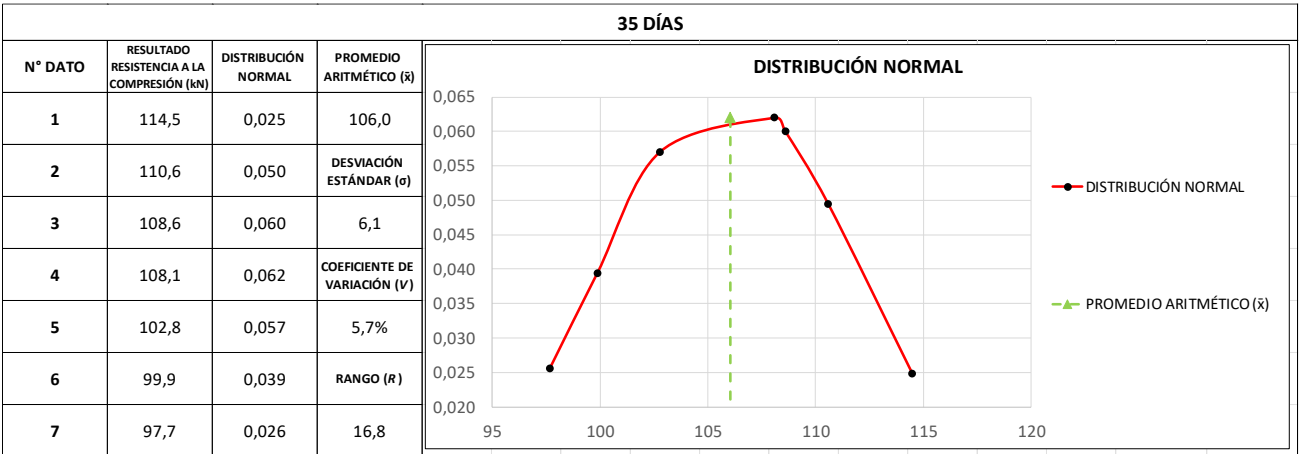
Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 28 días en el concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 71.

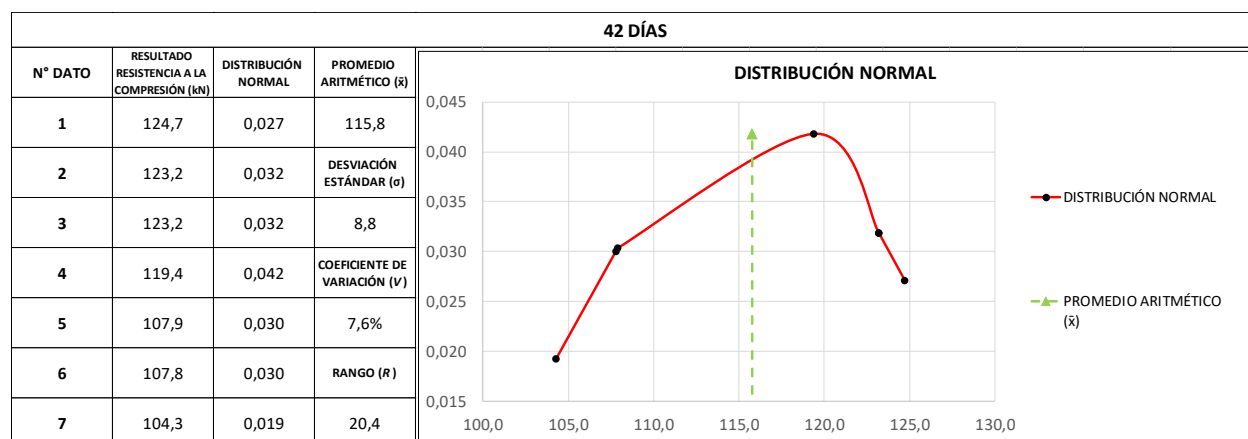
Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 35 días en el concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 72.

Resultados estadísticos de los resultados obtenidos a 42 días en el concreto con sustitución del 15% de cemento por hueso bovino calcinado.



Nota. Elaboración Propia.

Los anteriores resultados permiten determinar un control de calidad pobre en el diseño de la mezcla de concreto según lo establecido en el ACI 214-11 (Figura 73), esta clasificación está relacionada con los resultados de la Desviación Estándar (σ) y el Coeficiente de Varianza (V) los cuales presentaron valores altos en los resultados obtenidos a las edades de 28, 35 y 42 días. Estos datos permiten -junto con las gráficas de Distribución Normal- establecer los rangos de aceptación de los valores obtenidos en los ensayos de compresión, los cuales evidencian una alta dispersión de datos con respecto al Promedio Aritmético ($\bar{x}$).

Figura 73.

Estándares para el grado de control de calidad sobre concretos con $f'c < 34.5$ MPa.

Variación total					
Clase de operación	Desviación estándar para diferentes controles, MPa				
	Excelente	Muy buena	Buena	Aceptable	Pobre
Pruebas de control en la obra	< 2,8	2,8 a 3,4	3,4 a 4,1	4,1 a 4,8	> 4,8
Mezclas de prueba en laboratorio	< 1,4	1,4 a 1,7	1,7 a 2,1	2,1 a 2,4	> 2,4
Variación dentro de las pruebas					
Clase de operación	Coeficiente de variación para diferentes controles, %				
	Excelente	Muy buena	Buena	Aceptable	Pobre
Pruebas de control en la obra	< 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	> 6
Mezclas de prueba en laboratorio	< 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	> 5

Nota. Tomada de. Matallana, R. (2019). El Concreto: Fundamentos y Nuevas Tecnologías. Pág. 255. [sitio web]. Recuperado de <https://share.google/JPVO4LkqueuOjOgDb>

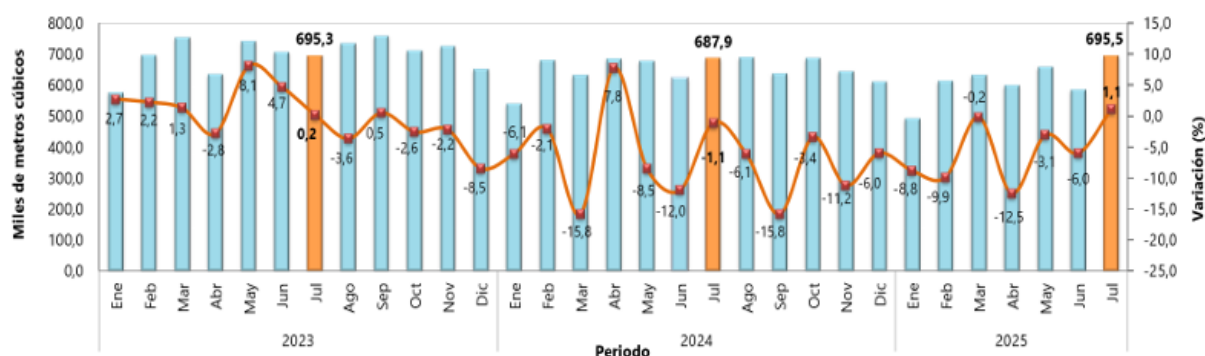
Esta deficiencia en el control de calidad de las mezclas de concreto realizadas está condicionada por la trazabilidad del origen de los agregados usados, la calibración de los equipos del laboratorio, las condiciones ambientales y el almacenamiento de los agregados y cilindros de concreto. Estas variables en sistemas industrializados deben estar totalmente controladas con el fin de minimizar la dispersión de los valores obtenidos en el ensayo de Resistencia a la Compresión y brindar tranquilidad en el desempeño y durabilidad de mezclas de concreto usadas en obra.

6.6 Viabilidad en Sistemas Industrializados

En la actualidad, las grandes demandas de concreto en el sector constructor han enmarcado la necesidad de industrializar la producción de concreto para abastecer la necesidad de este material tan importante para llevar a cabo los proyectos civiles que se llevan a cabo en el país. Esta demanda ha sido en los últimos 3 años (Julio de 2022 a Julio de 2025) de más de 669 mil metros cúbicos de concreto premezclado según fuentes del DANE (DANE. 2025) (Figura 74), cifras que abordan la presente investigación en búsqueda de implementar este material sostenible dentro de los procesos industriales llevados a cabo por grandes compañías concreteras del país.

Figura 74.

Cantidad de concreto premezclado producido en el país del mes de Julio de 2022 al Julio de 2025.



Nota. Tomado de. DANE. (2025). Estadísticas de Concreto Premezclado. Boletín Técnico. [sitio web]. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/estadisticas-de-concreto-premezclado>

Para conocer esta viabilidad se determinó mediante un Análisis de Precios Unitarios (APU) el valor correspondiente a 1 m³ de mezcla de concreto con la sustitución óptima del 10% de cemento por hueso bovino calcinado (Figura 75).

Figura 75.

Análisis de Precios Unitarios (APU) para 1m³ de concreto sustituido con el 10% de hueso bovino calcinado por el cemento.

	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					Realizado por			
	Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino					Michael Andrés Camacho			
						Jhon Jairo Suárez			
A.P.U. CONCRETO ESTRUCTURAL DE 3000 PSI (21MPA) CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL 10% DE CEMENTO POR HUESO BOVINO CALCINADO									
I. EQUIPO									
ID	Descripción			Cantidad	Tarifa/hora	Rendimiento	Valor-Unit	Valor-Parcial	
E1	Planta de mezclado de Concreto con capacidad de 60 m³/h			1	\$ 8.320.000	60,00	\$ 138.666,67	\$ 138.666,67	
							\$ -	\$ -	
							\$ -	\$ -	
	HERRAMIENTA MENOR					10%		\$ 313,64	
							Sub-total	\$ 138.980,31	
II. MATERIALES EN OBRA									
ID	Descripción			Unidad	Cantidad	Desperdicio	Precio Unit.	Valor-Parcial	
M1	Grava de 1/2"			m³	0,29	10%	\$ 170.000,00	\$ 54.230,00	
M2	Arena de Río			m³	0,32	10%	\$ 137.707,00	\$ 48.624,34	
M3	Cemento Argos de Tipo UG			Kg	430,20	10%	\$ 669,92	\$ 317.019,54	
M4	Agua			Lt	215,00	10%	\$ 4,40	\$ 1.040,60	
M5	Hueso Bovino Calcinado			Kg	47,80	10%	\$ 500,00	\$ 26.290,00	
								\$ -	
								\$ -	
							Sub-total	\$ 447.204,48	
III. TRANSPORTES									
ID	Descripción			Unidad	Distancia	Cantidad	Tarifa	Valor-Parcial	
T1	Transporte de concreto			m³*Km	1,00 km	1,000	\$ 3.950,90	\$ 3.950,90	
								\$ -	
								\$ -	
							Sub-total	\$ 3.950,90	
IV. MANO DE OBRA									
ID	Descripción			Cant.	Jornal	Factor prest.	Jornal Total	Rendimiento	Valor-Parcial
P1	Oficial			1,00	\$ 83.037,50	172%	\$ 142.824,50	100,00	\$ 1.428,25
P2	Ayudante			2,00	\$ 47.450,00	180%	\$ 85.410,00	100,00	\$ 1.708,20
									\$ -
								Sub-total	\$ 3.136,45
									</

Nota. Elaboración Propia.

Para realizar la comparación se obtuvo el valor comercial de 1 m³ de concreto convencional de 3000 PSI por medio de la cotización en la empresa Concremovil, la cual maneja un precio de venta de \$519.488,55 (Figura 76).

Figura 76.

Cotización de Concreto Convencional de 3000 PSI de grava fina elaborado por la compañía Concremóvil.

 Concremóvil			
TABLA 1			
TIPO	CÓDIGO PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	VALOR ANTES DE IVA
CONVENCIONAL	C-3000-4-28-6	Concreto 3000 PSI, grava COMÚN, 28 días, asentamiento 6" + - 1"	\$ 434.649
CONVENCIONAL	C-3000-2-28-6	Concreto 3000 PSI, grava FINA, 28 días, asentamiento 6" + - 1"	\$ 436.546
ACELERADO A 3	A 3	Acelerado a 3 días (valor adicional por m3)	\$ 35.000
ACELERADO A 7	A 7	Acelerado a 7 días (valor adicional por m3)	\$ 25.000
ACELERADO A 14	A 14	Acelerado a 14 días (valor adicional por m3)	\$ 15.000
BOMBA	ESTACIONARIA	Bomba estacionaria con tubería hasta 80 metros (Stand by 20m3)	\$ 40.000
BOMBA	AUTOBOMBA	Autobomba con brazo hasta 29 metros (Stand by 30m3)	\$ 50.000

• Los precios cotizados no incluyen I.V.A. que es del 19%

Nota. Tomado de. Concremóvil. (2025). Cotización precio unitario de concreto convencional de 21 MPa (3000 PSI).

Estos valores permiten definir que mantener los procesos que actualmente se llevan a cabo en una planta de concreto implementando maquinaria adicional que seque, triture, clinkerice y tamice el hueso bovino como una alternativa de sustitución parcial del cemento viabiliza esta nueva rama de inversión, debido a que, el precio inicial de \$700.061,13 corresponde a un valor inicial contemplando la tercerización del proceso de clinkerización del hueso bovino, pero este precio de mercado puede optimizarse con la adición de aditivos que permitan aumentar resistencia a la compresión en edades tempranas y reduzca el uso de agua y cemento en los diseños de mezcla.

Lo anterior con el fin de viabilizar el uso de este tipo de mezclas en sistemas industrializados regulando el precio con el mercado actual, por otro lado, al buscar mantener el producto en producción convencional de concretos es importante resaltar que, para reducir el precio anteriormente calculado, es importante realizar la inversión inicial de una planta independiente que produzca este tipo de

material, garantizando por consiguiente que el valor se regule a los precios actuales y se permita una utilidad adecuada a la compañía que implementé esta tecnología innovadora.

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Cuando se ponen sobre la mesa los resultados, lo primero que se nota es que el 10% de sustitución se comporta casi igual que el concreto patrón. Ya cuando se sube al 15% empieza a bajar de manera notoria. Esa idea del 10% como límite no la vemos solo aquí, también aparece en lo dicho por Guarniz Valverde & Vásquez Cabanillas (2022).

En el trabajo de Palomino-Guzmán, González-López, Olmedo-Montoya, Sánchez-Echeverri, y Tovar-Perilla (2024) mostraron que, al mezclar hueso bovino con porcino. En su caso, tanto con 10% como con 15% superaron los 21 MPa a 28 días. Eso abre la pregunta de si el hueso porcino aporta más reactividad que el bovino, y deja claro que el tipo de residuo también juega su papel.

En la tesis de Ardila y Echeverry (2018) de la Universidad Piloto, el hueso se usó como agregado grueso. No es lo mismo que sustituir cemento, pero la conclusión no se aleja: poco reemplazo no cambia tanto, mucho reemplazo sí afecta.

El trabajo de Vaca Rumiguano (2024) en la Universidad Central del Ecuador probó un rango bastante amplio, del 5% hasta el 30%. Encontró que al 5% todo iba bien, pero al pasar del 15% las pérdidas fueron claras. Eso coincide bastante con lo que se halló aquí.

Y Sarapura (2021) en la Universidad Peruana Los Andes al cambiar arena por hueso triturado vio que hasta 10% el concreto aguantaba sin problema, al 15% ya se notaba caída. Otra vez, se refuerza que el 10% es el punto donde aún se puede confiar.

Tabla 24.*Variable independiente: Sustitución parcial del cemento.*

Estudio	Metodología	Resultados discutidos	Resumen
Presente estudio	Sustitución de cemento por BHA 10% y 15%, seguimiento a 42 días, control estadístico	10% llegó a 21 MPa en 42 d, 15% solo 67% del patrón, COV <10%	• 10% viable con ganancia tardía • 15% no cumple estructural • Precisión estadística
Guarniz Valverde & Vásquez Cabanillas (2022)	Sustitución de cemento 0–15%	10% parecido al patrón, 15% menor	• 10% mantiene resistencia • 15% baja desempeño • Sin COV reportado
Palomino-Guzmán, González-López, Olmedo-Montoya, Sánchez-Echeverri, & Tovar-Perilla (2024)	Sustitución de cemento con mezcla bovino/porcino 10–20%	10% y 15% ≥ 21 MPa, 20% 18.5 MPa	• 10–15% logran patrón • Hueso porcino mejora • No hay seguimiento tardío
Ardila & Echeverry (2018)	Sustitución de agregado grueso 10–30%	18–20 MPa	• Uso distinto (agregado) • Bajos % aceptables • Altos % reducen calidad
Vaca Rumiguano (2024)	Sustitución de cemento 5–30%	5% igual al patrón, >15% pérdidas claras	• Amplio rango analizado • Confirma límite superior • Incluye módulo de elasticidad
Sarapura (2021)	Sustitución de arena 5–15%	5–10% aceptables, 15% bajada leve	• Agregado fino • 10% estable • 15% ya baja

Nota. La tabla resume de forma comparativa las metodologías, los resultados y los puntos clave de cada investigación, mostrando por qué el presente estudio logró mejorar la discusión al incluir control estadístico y seguimiento a 42 días.

Elaboración propia con base en las tesis y artículos revisados.

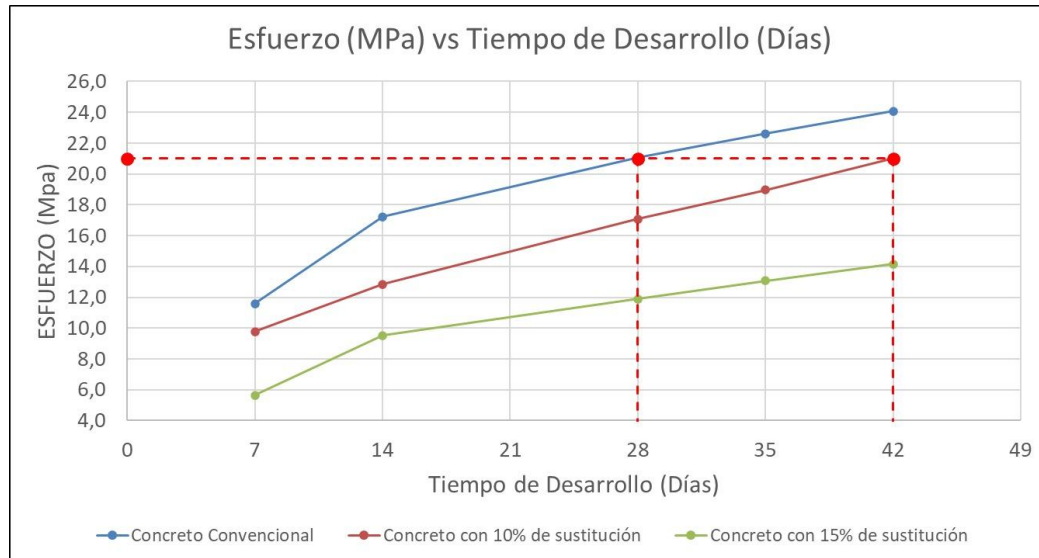
Lo que hace diferente a este estudio es que no se quedó en los 28 días. Se siguió hasta los 42 y ahí apareció algo importante: el concreto con 10% de hueso bovino calcinado terminó alcanzando la

resistencia objetivo. Esa ganancia tardía no la habían mostrado otros trabajos. Además, aquí sí se reportaron desviaciones estándar y coeficientes de variación, que dan más confianza en los números. También se miró lo económico, viendo que al 10% hay viabilidad en costos, y se puso cuidado en la trabajabilidad, porque no sirve de nada tener resistencia si el concreto no se puede trabajar. Se armó incluso un mapa de decisiones para orientar dónde usar cada porcentaje. Pero también hay que ser claros: hubo fallos, los materiales no eran perfectos, los equipos necesitaban mejor calibración y eso pesó en los datos. Al final, lo que deja este trabajo es que no fue un ensayo perfecto, pero sí cumplió con el objetivo de extender la investigación y abrir camino para que otros estudiantes e ingenieros puedan seguir y mejorar lo que aquí se empezó.

Al cierre de esta comparación y de la síntesis crítica, se vuelve necesario observar los datos propios de compresión. Aquí se introduce la Figura 77 como apoyo directo de la discusión. Esta figura refleja cómo las mezclas evolucionaron en el tiempo y refuerza lo ya dicho sobre la ganancia tardía de resistencia.

Figura 77.

Resultados de resistencia a la compresión.



Nota. Contiene resultado de los ensayos de compresión, de los diferentes diseños de mezclas utilizados en esta investigación.

Elaboración propia a partir de los ensayos realizados.

La Figura 77 muestra de manera clara cómo el concreto convencional alcanzó la resistencia esperada a 28 días, mientras que el 10% de sustitución lo hizo en 42 días, y el 15% se mantuvo siempre por debajo. Este detalle aporta fuerza a la discusión porque deja ver que el 10% es un valor límite que sí puede cumplir, aunque con retraso, y que debe considerarse dentro de los márgenes de diseño si se controla bien el proceso.

CAPITULO VII: CONCLUSIONES

El apartado de conclusiones retoma directamente el problema inicial y el objetivo general del estudio que es, evaluar el desempeño de un concreto de 21 MPa con sustitución parcial de cemento por hueso bovino calcinado (10% y 15%). Y cierran los objetivos específicos: preparación del hueso bovino calcinado, caracterización de materiales, diseño y control de calidad, elaboración de especímenes, ensayos de compresión y comparación técnica/económica. Actúan como un hilo conductor que une lo realizado con lo que se quería responder, dejando claro que se siguió un hilo lógico desde el planteamiento del problema hasta los resultados finales, sin dejar cabos sueltos.

1. El concreto convencional diseñado bajo las metodologías de Fuller y Thompson, ACI y Road Note Laboratory, cumplió con los requisitos establecidos en la NSR-10 a los 28 días y funcionó como patrón confiable para comparar los diseños con sustitución.
2. Los resultados confirman que el 10% de sustitución es viable: mantuvo la trabajabilidad y alcanzó la resistencia de diseño de 21 MPa, aunque a 42 días. El 15% no cumple la resistencia mínima a 28 días y se quedó en ~67% del patrón; por tanto, no es apto para uso estructural de 21 MPa bajo verificación a 28 días.
3. La densidad del concreto se redujo frente al patrón: 2.251 kg/m³ (convencional), 2.204 kg/m³ (10%, -2%) y 2.194 kg/m³ (15%, -2.6%). Es un concreto más ligero, útil cuando el peso propio importa, pero ese beneficio no compensa la pérdida resistente en 15%.
4. En el asentamiento, con una mezcladora de 20 L y tres tandas de 17 L para 27 probetas, se observaron diferencias de fluidez entre tandas asociadas a variaciones de humedad en agregados. Aun así, la mezcla se mantuvo viable para distintos sistemas de colocación y vibrado, sin segregación crítica.

5. Los agregados cumplieron NTC 174 (limpieza, formas, dureza) y las especificaciones IDU (2018) para pavimento de concreto e INVIAS (2022) para estructuras en carreteras. Esto respalda que los insumos estuvieron dentro de los rangos exigidos por normativa vigente.
6. El 15% de sustitución solo es recomendable en elementos no estructurales (limpieza, solados u otros de baja exigencia). El 10% es utilizable en aplicaciones estructurales si se controla proceso, curado y edad de verificación (42 días si se busca 21 MPa).
7. En costos, hay espacio real de optimización si se industrializa la cadena del hueso bovino calcinado (trituración, calcinación, tamizado). La estandarización permitiría mayores costos unitarios debido a la inversión inicial, sin embargo, se ajustarían los precios al mercado actual a corto plazo. Adicional, el aporte a una huella ambiental más baja por el menor consumo de cemento optimiza la implementación de este tipo de materiales innovadores apoyada por el concepto de economía circular.
8. Las limitaciones que afectan la validez de este estudio son claras: (i) no se contó con un origen certificado de los agregados, (ii) el cemento presentó humedad antes de ser usado, (iii) no se midió de forma precisa la cantidad de cal empleada en la piscina de calcinación y (iv) en algunas edades se trabajó con un número de probetas menor al sugerido por la NTC 1377. Todos estos aspectos generan variabilidad en los datos y obligan a tomar con cautela cualquier intento de extrapolar los resultados más allá de las condiciones controladas en el laboratorio.
9. Las implicaciones de este estudio aportan evidencia aplicada para incorporar residuos ganaderos como adición cementante secundaria. Resulta útil para laboratorios

universitarios, concreteras, interventorías y entes ambientales que buscan bajar consumo de cemento sin perder desempeño técnico.

10. No es un resultado “perfecto”; hubo ruido experimental y equipos por debajo del ideal.

Aun así, el objetivo de extender la ventana de evaluación a 42 días y comparar contra el patrón se cumplió y deja un mapa claro de decisión: 10% sí (con control y verificación a 42 días), 15% no para 21 MPa.

11. Se ejecuto la preparación y calcinación del hueso, la caracterización de agregados y cementante, el diseño de mezclas (ACI–Fuller–RNL), la elaboración y curado de cilindros (NTC 550), los ensayos de compresión (NTC 673), la comparación de resultados y el análisis de viabilidad.

12. Se cumplió con las exigencias de resistencia y sostenibilidad bajo normativa colombiana con 10% de sustitución, siempre que se controle el proceso y se acepte una verificación a 42 días; con 15% no se logra la resistencia objetivo en las condiciones ensayadas.

CAPITULO VIII: RECOMENDACIONES

Al llegar al final de este trabajo, entendemos que no basta con tener resultados sobre la mesa. Hay que ir un paso más allá, pensar en cómo lo que aprendimos puede servir para mejorar, corregir y sobre todo, seguir construyendo conocimiento. Estas recomendaciones nacen de lo que vimos en el laboratorio, de los aciertos que nos dejaron tranquilos y de los errores que nos enseñaron más de lo que esperábamos. Son una guía sincera para quienes vengan después, para que partan de lo que hicimos y no repitan lo que nos limitó.

1. Es fundamental optimizar los equipos del laboratorio de la Universidad La Gran Colombia. La máquina de compresión necesita recalibración —la última fue en marzo de 2024— y esa falta de precisión se sintió. Un equipo ajustado inspira confianza, no solo en los datos sino también en el trabajo que se entrega.
2. También es importante que los agregados tengan una trazabilidad clara. No saber exactamente de dónde venían dificultó el control de muchas variables. Con materiales certificados, las conclusiones podrían sostenerse con mayor firmeza.
3. El cemento Portland merece un cuidado más riguroso. Llegó con algo de humedad, lo que afectó la hidratación y seguramente alteró el desarrollo resistente. Pequeños descuidos como ese pueden torcer el rumbo de los resultados.
4. En la piscina de calcinación hay que registrar con precisión la cantidad de cal usada; sin ese dato, repetir el proceso con exactitud se vuelve imposible. A esto se suma que el tanque de almacenamiento de los especímenes no cumplía del todo las condiciones de temperatura señaladas por la NTC 3318 (antes NTC 35-12): el promedio fue de 20 °C,

cuando la norma recomienda 23 ± 2 °C. Incorporar equipos como termocuplas ayudaría a mantener un control más estable y cercano a lo exigido.

5. Se necesita renovar parte del equipamiento de aprendizaje. Contar con máquinas para medir el módulo de elasticidad o equipos de análisis reológico ampliaría las posibilidades de estudio y acercaría el laboratorio a las condiciones reales de la industria. Además, sería ideal actualizar los moldes de compresión hidráulica: los metálicos que usamos ya están siendo reemplazados por moldes plásticos, más prácticos y menos propensos a deformaciones.
6. También haría falta realizar ensayos químicos adicionales a los agregados, como los de azul de metileno, partículas livianas, solidez, terrones o contenido de sulfatos. Estos análisis completarían la caracterización de los materiales y darían una visión más real de su comportamiento.
7. En cuanto al tratamiento del hueso, se debería pensar en una clorificación y trituration más industrializada. Si se logra escalar el proceso, los costos del insumo bajarían y se facilitaría su uso a gran escala, haciendo que el material sea más competitivo.
8. Otra idea que vale la pena explorar es el uso de aditivos comerciales junto con residuos agroindustriales como la cascarilla de arroz, el bagazo de caña o las cenizas de otros materiales. Esto podría fortalecer lo que ya logramos con el concreto actual, buscando más resistencia y menos impacto ambiental. Incluso probar el hueso bovino en su parte más porosa como agregado grueso sería una línea interesante, ya que esa textura podría mejorar la adherencia con la pasta del concreto.

9. Y, por supuesto, esta línea de investigación debe continuar. Sería valioso experimentar con distintas temperaturas y tiempos de calcinación, o incluir pruebas de durabilidad — carbonatación, absorción, permeabilidad— para darle mayor profundidad a lo que aquí apenas empezamos.

En el fondo, estas recomendaciones no son solo una lista técnica: son el eco de la experiencia. Porque cada ajuste, cada mejora y cada falla nos recordaron que investigar es construir sobre lo aprendido. El concreto con hueso bovino calcinado tiene camino, y aunque aún hay cosas por afinar, ya demostró que vale la pena seguirlo explorando.

LISTA DE REFERENCIA O BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute (ACI). (2002). Manual of concrete practice. ACI 211-11.
- Ardila Barreto, J. S., & Echeverry Arias, J. B. (2018). Modificación del diseño de mezcla del concreto convencional a partir del uso del hueso triturado como agregado grueso para ensayos de resistencia a la compresión [Trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia].
- CONPES. (2020). Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos. Consejo Nacional de Política Económica y Social. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CONPES>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2025). Estadísticas de concreto premezclado: Boletín técnico. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/estadisticas-de-concreto-premezclado>
- González de Molina, M., & Toledo, V. M. (2014). The social metabolism: A socio-ecological theory of historical change. Springer.
- Granda, J. (2023). Impacto ambiental del sector construcción en Colombia. Universidad de Cuenca.
- Guarniz Valverde, A., & Vásquez Cabanillas, M. E. (2024). Influencia del hueso calcinado de vacuno en sustitución del cemento respecto a la pérdida de asentamiento y resistencia a la compresión de un concreto de relación agua–material cementante de 0.50, Trujillo 2022 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo].
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2013). Especificaciones generales de construcción de carreteras. Bogotá, Colombia.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2002). Diseño y control de mezclas de concreto. Portland Cement Association.
- Matallana Rodríguez, R. (2019). El concreto: Fundamentos y nuevas tecnologías. Corona.
- Neville, A. M. (2011). Properties of concrete (5.^a ed.). Pearson.

Norma Técnica Colombiana [NTC]. (2013). Normas técnicas aplicables al concreto y agregados para construcción. ICONTEC.

Palomino-Guzmán, E. R., González-López, A., Olmedo-Montoya, J., Sánchez-Echeverri, L. A., & Tovar-Perilla, N. J. (2024). A sustainable approach using beef and pig bone waste as a cement replacement to produce concrete. *Sustainability*, 16(2), 701. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/2/701>

Pedraza Acevedo, F. A., Riveira Iguarán, M. P., & Velásquez Vega, E. V. (2017). Evaluación de la resistencia a la compresión de un concreto hidráulico con reemplazo parcial de cemento por hueso bovino calcinado. Universidad Piloto de Colombia.

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). (s. f.). Normatividad estructural vigente en Colombia.

Rodríguez Díaz, C. I., & Goenaga Delgado, V. I. (2022). Evaluación de la resistencia a la compresión en mezclas de mortero aplicando reemplazo del agregado fino por hueso porcino triturado siguiendo lo establecido en la normativa vigente colombiana [Trabajo de grado, Universidad de la Costa]. <https://repositorio.cuc.edu.co/entities/publication/f4c94575-fedc-49a8-905c-550e4d1a7f41>

Sandino, A. (1981). *Materiales para Estructuras*. Escuela Colombiana de Ingeniería. República de Colombia.

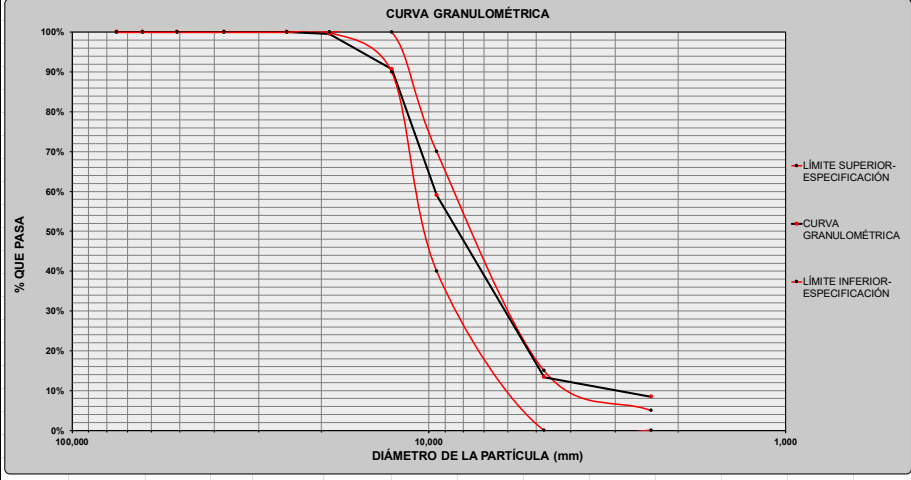
Sánchez, D. (2001). *Materiales alternativos y sostenibles en la industria de la construcción*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Vaca Rumiguano, L. A. (2024). Comportamiento de los huesos de animales pulverizados en las propiedades físico-mecánicas en mezclas de hormigón estándar [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador].

ANEXOS

Anexo A.

Informes de Resultados de Laboratorio del Agregado Grueso.

	INFORME DE ENSAYO					REALIZADO POR																																																																																																																																																																																																																																																																									
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (INV E-214-13)					MICHAEL ANDRÉS CAMACHO																																																																																																																																																																																																																																																																									
	DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 75 µm (N°200) EN LOS AGREGADOS PÉTREOS MEDIANTE LAVADO (INV E-214-13)					JHON JAIRO SUAREZ																																																																																																																																																																																																																																																																									
DETERMINACIÓN EN EL LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO-AGREGADO (INV E-122-13)																																																																																																																																																																																																																																																																															
PROYECTO:	Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino					FECHA DE ENSAYO:	8 de mayo de 2025																																																																																																																																																																																																																																																																								
DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE																																																																																																																																																																																																																																																																															
DESCRIPCIÓN DE MATERIAL:	Grava	FECHA DE TOMA:	3 de mayo de 2025	CLASIFICACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIÓN:	Grava 1/2" (NTC)	NTC 174. Tabla 7, No. 7																																																																																																																																																																																																																																																																									
ESPECIFICACIÓN:	NTC 174	ABSCISA INICIAL:	N/A	LOCALIZACIÓN:	N/A																																																																																																																																																																																																																																																																										
PROCEDENCIA:	Material Granular de la Facultad	ABSCISA FINAL:	N/A	TOMA DE LA MUESTRA	N/A																																																																																																																																																																																																																																																																										
<table><tr><th colspan="2">LAVADO POR TAMIZ N°200 (INV E-214-13)</th><th colspan="9">ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th colspan="2">TAMIZ</th><th>MASA RETENIDA EN CADA TAMIZ (g)</th><th>% RETENIDO</th><th>% RETENIDO ACUMULADO</th><th>% PASA</th><th colspan="2">LÍMITES SEGÚN ESPECIFICACIÓN APLICABLE</th><th colspan="2">LÍMITES SEGÚN FÓRMULA DE TRABAJO</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th>in (")</th><th>mm</th><th></th><th></th><th></th><th></th><th>SUPERIOR</th><th>INFERIOR</th><th>SUPERIOR</th><th>INFERIOR</th></tr><tr><td>MASA INICIAL DE LA MUESTRA ANTES DE LAVAR (g)</td><td>10454</td><td>3"</td><td>75</td><td>0</td><td>0,0%</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td>100</td><td>100</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>MASA INICIAL DE LA MUESTRA SECA DESPUÉS DE LAVADO (g)</td><td>10146</td><td>2 1/2"</td><td>63,5</td><td>0</td><td>0,0%</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td>100</td><td>100</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td></td><td>2"</td><td>50,8</td><td>0</td><td>0,0%</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td>100</td><td>100</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>MASA TOTAL DE MATERIAL PASA TAMIZ N°200 (g)</td><td>308</td><td>1 1/2"</td><td>38,1</td><td>0</td><td>0,0%</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td>100</td><td>100</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td></td><td>1"</td><td>25,4</td><td>0</td><td>0,0%</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td>100</td><td>100</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>% DE MATERIAL PASA TAMIZ N°200</td><td>2,9%</td><td>3/4"</td><td>19,05</td><td>42,2</td><td>0,4%</td><td>0,4%</td><td>99,6%</td><td>100</td><td>100</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td></td><td>1/2"</td><td>12,7</td><td>932,6</td><td>8,9%</td><td>9,3%</td><td>90,7%</td><td>100</td><td>90</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (INV E-122-13)</td><td></td><td>3/8"</td><td>9,52</td><td>3310,2</td><td>31,7%</td><td>41,0%</td><td>59,0%</td><td>70</td><td>40</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td></td><td>N°4</td><td>4,75</td><td>4772</td><td>45,6%</td><td>86,6%</td><td>13,4%</td><td>15</td><td>0</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>N° DE RECIPIENTE</td><td>-</td><td>N°8</td><td>2,36</td><td>518,1</td><td>5,0%</td><td>91,6%</td><td>8,4%</td><td>5</td><td>0</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td></td><td>N°10</td><td>2</td><td>59,3</td><td>0,6%</td><td>92,2%</td><td>7,8%</td><td>-</td><td>-</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>M1</td><td>MASA HUMEDA DEL MATERIAL + MASA DE MUESTRA SECA DEL MATERIAL + MASA DE RECIPIENTE (g)</td><td>N°16</td><td>1,18</td><td>0,0</td><td>0,0%</td><td>92,2%</td><td>7,8%</td><td>-</td><td>-</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td></td><td>N°30</td><td>0,595</td><td>0,0</td><td>0,0%</td><td>92,2%</td><td>7,8%</td><td>-</td><td>-</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>M2</td><td>MASA SECA DEL MATERIAL + MASA DE RECIPIENTE (g)</td><td>N°40</td><td>0,42</td><td>178,6</td><td>1,7%</td><td>93,9%</td><td>6,1%</td><td>-</td><td>-</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td></td><td>N°50</td><td>0,3</td><td>0,0</td><td>0,0%</td><td>93,9%</td><td>6,1%</td><td>-</td><td>-</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>M3</td><td>MASA DEL RECIPIENTE (g)</td><td>N°100</td><td>0,15</td><td>0,0</td><td>0,0%</td><td>93,9%</td><td>6,1%</td><td>-</td><td>-</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td></td><td>N°200</td><td>0,075</td><td>332,7</td><td>3,2%</td><td>97,1%</td><td>2,9%</td><td>-</td><td>-</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>% DE HUMEDAD</td><td>4,8%</td><td>FONDO</td><td></td><td>308</td><td>2,9%</td><td>100,0%</td><td>0,0%</td><td>-</td><td>-</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td></td><td>MÓDULO DE FINURA</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									LAVADO POR TAMIZ N°200 (INV E-214-13)		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO											TAMIZ		MASA RETENIDA EN CADA TAMIZ (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	LÍMITES SEGÚN ESPECIFICACIÓN APLICABLE		LÍMITES SEGÚN FÓRMULA DE TRABAJO				in (")	mm					SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	MASA INICIAL DE LA MUESTRA ANTES DE LAVAR (g)	10454	3"	75	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--	MASA INICIAL DE LA MUESTRA SECA DESPUÉS DE LAVADO (g)	10146	2 1/2"	63,5	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--			2"	50,8	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--	MASA TOTAL DE MATERIAL PASA TAMIZ N°200 (g)	308	1 1/2"	38,1	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--			1"	25,4	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--	% DE MATERIAL PASA TAMIZ N°200	2,9%	3/4"	19,05	42,2	0,4%	0,4%	99,6%	100	100	--	--			1/2"	12,7	932,6	8,9%	9,3%	90,7%	100	90	--	--	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (INV E-122-13)		3/8"	9,52	3310,2	31,7%	41,0%	59,0%	70	40	--	--			N°4	4,75	4772	45,6%	86,6%	13,4%	15	0	--	--	N° DE RECIPIENTE	-	N°8	2,36	518,1	5,0%	91,6%	8,4%	5	0	--	--			N°10	2	59,3	0,6%	92,2%	7,8%	-	-	--	--	M1	MASA HUMEDA DEL MATERIAL + MASA DE MUESTRA SECA DEL MATERIAL + MASA DE RECIPIENTE (g)	N°16	1,18	0,0	0,0%	92,2%	7,8%	-	-	--	--			N°30	0,595	0,0	0,0%	92,2%	7,8%	-	-	--	--	M2	MASA SECA DEL MATERIAL + MASA DE RECIPIENTE (g)	N°40	0,42	178,6	1,7%	93,9%	6,1%	-	-	--	--			N°50	0,3	0,0	0,0%	93,9%	6,1%	-	-	--	--	M3	MASA DEL RECIPIENTE (g)	N°100	0,15	0,0	0,0%	93,9%	6,1%	-	-	--	--			N°200	0,075	332,7	3,2%	97,1%	2,9%	-	-	--	--	% DE HUMEDAD	4,8%	FONDO		308	2,9%	100,0%	0,0%	-	-	--	--			MÓDULO DE FINURA									
LAVADO POR TAMIZ N°200 (INV E-214-13)		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO																																																																																																																																																																																																																																																																													
		TAMIZ		MASA RETENIDA EN CADA TAMIZ (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	LÍMITES SEGÚN ESPECIFICACIÓN APLICABLE		LÍMITES SEGÚN FÓRMULA DE TRABAJO																																																																																																																																																																																																																																																																					
		in (")	mm					SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR																																																																																																																																																																																																																																																																				
MASA INICIAL DE LA MUESTRA ANTES DE LAVAR (g)	10454	3"	75	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
MASA INICIAL DE LA MUESTRA SECA DESPUÉS DE LAVADO (g)	10146	2 1/2"	63,5	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
		2"	50,8	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
MASA TOTAL DE MATERIAL PASA TAMIZ N°200 (g)	308	1 1/2"	38,1	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
		1"	25,4	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
% DE MATERIAL PASA TAMIZ N°200	2,9%	3/4"	19,05	42,2	0,4%	0,4%	99,6%	100	100	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
		1/2"	12,7	932,6	8,9%	9,3%	90,7%	100	90	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (INV E-122-13)		3/8"	9,52	3310,2	31,7%	41,0%	59,0%	70	40	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
		N°4	4,75	4772	45,6%	86,6%	13,4%	15	0	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
N° DE RECIPIENTE	-	N°8	2,36	518,1	5,0%	91,6%	8,4%	5	0	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
		N°10	2	59,3	0,6%	92,2%	7,8%	-	-	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
M1	MASA HUMEDA DEL MATERIAL + MASA DE MUESTRA SECA DEL MATERIAL + MASA DE RECIPIENTE (g)	N°16	1,18	0,0	0,0%	92,2%	7,8%	-	-	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
		N°30	0,595	0,0	0,0%	92,2%	7,8%	-	-	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
M2	MASA SECA DEL MATERIAL + MASA DE RECIPIENTE (g)	N°40	0,42	178,6	1,7%	93,9%	6,1%	-	-	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
		N°50	0,3	0,0	0,0%	93,9%	6,1%	-	-	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
M3	MASA DEL RECIPIENTE (g)	N°100	0,15	0,0	0,0%	93,9%	6,1%	-	-	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
		N°200	0,075	332,7	3,2%	97,1%	2,9%	-	-	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
% DE HUMEDAD	4,8%	FONDO		308	2,9%	100,0%	0,0%	-	-	--	--																																																																																																																																																																																																																																																																				
		MÓDULO DE FINURA																																																																																																																																																																																																																																																																													
																																																																																																																																																																																																																																																																															
OBSERVACIONES:	NINGUNA																																																																																																																																																																																																																																																																														
FIN DEL INFORME																																																																																																																																																																																																																																																																															

	INFORME DE ENSAYO				REALIZADO POR																																																																
	DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (INV E-223-13)				MICHAEL ANDRÉS CAMACHO																																																																
					JHON JAIRO SUAREZ																																																																
PROYECTO:	Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino			FECHA DE ENSAYO:	8 de mayo de 2025																																																																
DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE																																																																					
DESCRIPCIÓN DE MATERIAL:	Grava	FECHA DE TOMA:	3 de mayo de 2025	CLASIFICACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIÓN:	Grava 1/2" (NTC)	NTC 174, Tabla 7, No. 7																																																															
ESPECIFICACIÓN:	NTC 174	ABSCISA INICIAL:	N/A	LOCALIZACIÓN:	N/A																																																																
PROCEDENCIA:	Material Granular de la Facultad	ABSCISA FINAL:	N/A	TOMA DE LA MUESTRA	N/A																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">REGISTRO DE DATOS INICIALES</th> <th colspan="3">RESULTADOS DE ENSAYO</th> </tr> <tr> <th colspan="4"></th> <th>N° DE ENSAYO</th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N° DE ENSAYO</td> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>Gravedad Específica Seca al Horno, SH (adimensional)</td> <td>2,245</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Condición de preparación de la muestra</td> <td colspan="3">PRESENTA INMERSIÓN</td> <td>Gravedad Específica Condición SSS, (adimensional)</td> <td>2,355</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>Peso en aire de muestra seca, g</td> <td>6228,0</td> <td></td> <td>Gravedad Específica Aparente, (adimensional)</td> <td>2,524</td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Peso de la muestra en estado SSS, g</td> <td>6534,0</td> <td></td> <td>Densidad Seca al Horno, Kg/m³</td> <td>2240</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Peso de la muestra sumergida, g</td> <td>3760,0</td> <td></td> <td>Densidad Condición SSS, Kg/m³</td> <td>2350</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Temperatura de ensayo, °C</td> <td colspan="2">23</td> <td>Densidad Aparente, Kg/m³</td> <td>2517</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Absorción, %</td> <td>4,9%</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							REGISTRO DE DATOS INICIALES				RESULTADOS DE ENSAYO							N° DE ENSAYO	1	2	N° DE ENSAYO		1	2	Gravedad Específica Seca al Horno, SH (adimensional)	2,245		Condición de preparación de la muestra	PRESENTA INMERSIÓN			Gravedad Específica Condición SSS, (adimensional)	2,355		A	Peso en aire de muestra seca, g	6228,0		Gravedad Específica Aparente, (adimensional)	2,524		B	Peso de la muestra en estado SSS, g	6534,0		Densidad Seca al Horno, Kg/m ³	2240		C	Peso de la muestra sumergida, g	3760,0		Densidad Condición SSS, Kg/m ³	2350		Temperatura de ensayo, °C		23		Densidad Aparente, Kg/m ³	2517						Absorción, %	4,9%	
REGISTRO DE DATOS INICIALES				RESULTADOS DE ENSAYO																																																																	
				N° DE ENSAYO	1	2																																																															
N° DE ENSAYO		1	2	Gravedad Específica Seca al Horno, SH (adimensional)	2,245																																																																
Condición de preparación de la muestra	PRESENTA INMERSIÓN			Gravedad Específica Condición SSS, (adimensional)	2,355																																																																
A	Peso en aire de muestra seca, g	6228,0		Gravedad Específica Aparente, (adimensional)	2,524																																																																
B	Peso de la muestra en estado SSS, g	6534,0		Densidad Seca al Horno, Kg/m ³	2240																																																																
C	Peso de la muestra sumergida, g	3760,0		Densidad Condición SSS, Kg/m ³	2350																																																																
Temperatura de ensayo, °C		23		Densidad Aparente, Kg/m ³	2517																																																																
				Absorción, %	4,9%																																																																
TEMPERATURA DEL AGUA °C - DENSIDAD DEL AGUA (g/cm ³)		FORMULACIÓN																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TEMPERATURA (°C)</th> <th>DENSIDAD ABSOLUTA DEL AGUA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10</td><td>0.999728</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.999634</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.999526</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.999406</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.999273</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.999129</td></tr> <tr><td>16</td><td>0.998972</td></tr> <tr><td>17</td><td>0.998804</td></tr> <tr><td>18</td><td>0.998625</td></tr> <tr><td>19</td><td>0.998435</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.998234</td></tr> <tr><td>21</td><td>0.998022</td></tr> <tr><td>22</td><td>0.997801</td></tr> <tr><td>23</td><td>0.997569</td></tr> <tr><td>24</td><td>0.997327</td></tr> <tr><td>25</td><td>0.997075</td></tr> <tr><td>26</td><td>0.996814</td></tr> <tr><td>27</td><td>0.996544</td></tr> <tr><td>28</td><td>0.996264</td></tr> <tr><td>29</td><td>0.995976</td></tr> <tr><td>30</td><td>0.995678</td></tr> </tbody> </table>		TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD ABSOLUTA DEL AGUA	10	0.999728	11	0.999634	12	0.999526	13	0.999406	14	0.999273	15	0.999129	16	0.998972	17	0.998804	18	0.998625	19	0.998435	20	0.998234	21	0.998022	22	0.997801	23	0.997569	24	0.997327	25	0.997075	26	0.996814	27	0.996544	28	0.996264	29	0.995976	30	0.995678	Gravedad Específica Seca al Horno SH $\text{Densidad relativa (gravedad específica) SH} = \frac{A}{(B - C)}$			VALORES DE DENSIDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD SECA AL HORNO, DENSIDAD EN CONDICIÓN SSS Y LA DENSIDAD APARENTE SE REALIZA LA MULTIPLICACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA EN CADA UNA DE LAS 3 CONDICIONES Y LA DENSIDAD DEL AGUA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO.																				
TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD ABSOLUTA DEL AGUA																																																																				
10	0.999728																																																																				
11	0.999634																																																																				
12	0.999526																																																																				
13	0.999406																																																																				
14	0.999273																																																																				
15	0.999129																																																																				
16	0.998972																																																																				
17	0.998804																																																																				
18	0.998625																																																																				
19	0.998435																																																																				
20	0.998234																																																																				
21	0.998022																																																																				
22	0.997801																																																																				
23	0.997569																																																																				
24	0.997327																																																																				
25	0.997075																																																																				
26	0.996814																																																																				
27	0.996544																																																																				
28	0.996264																																																																				
29	0.995976																																																																				
30	0.995678																																																																				
Gravedad Específica Condición SSS $\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{(A - C)}$																																																																					
Gravedad Específica Aparente $\text{Densidad relativa (gravedad específica) SSS} = \frac{B}{(B - C)}$																																																																					
Fuente. INVIAS. (2013). INV E-734-13 Gravedad específica bulk y densidad de mezclas asfálticas. Tabla 734-1. Instituto Nacional de Vías. República de Colombia.																																																																					
OBSERVACIONES:	NINGUNA																																																																				

FIN DEL INFORME

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia		INFORME DE ENSAYO				REALIZADO POR	
		DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE LOS AGREGADOS EN ESTADO SUELTO Y COMPACTO (INV E-217-13)				MICHAEL ANDRÉS CAMACHO JHON JAIRO SUAREZ	
PROYECTO:		Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino				FECHA DE ENSAYO:	
						3 de mayo de 2025	
DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE							
DESCRIPCIÓN DE MATERIAL:		Grava	FECHA DE TOMA:	3 de mayo de 2025	CLASIFICACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIÓN:	Grava 1/2"	NTC 174. Tabla 7, No7
ESPECIFICACIÓN:		NTC 174	ABSCISA INICIAL:	N/A	LOCALIZACIÓN:	N/A	
PROCEDENCIA:		Material Granular de la Facultad	ABSCISA FINAL:	N/A	TOMA DE LA MUESTRA:	N/A	
DATOS INICIALES DEL ESPECÍMEN DE ENSAYO			RESULTADOS DEL ENSAYO				
			ESTADO SUELTO		ESTADO COMPACTO APISONADO		
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO, mm	12,5		CONDICIÓN SECA	CONDICIÓN SSS		CONDICIÓN SECA	CONDICIÓN SSS
MASA SECA UTILIZADA EN EL ENSAYO, g	20000	MASA DEL MOLDE + MATERIAL, g (1ra Prueba)	17656	-	MASA DEL MOLDE + MATERIAL, g (1ra Prueba)	18352	-
(T) MASA DEL MOLDE DE ENSAYO, g	0	MASA DEL MOLDE + MATERIAL, g (2da Prueba)	17708	-	MASA DEL MOLDE + MATERIAL, g (1ra Prueba)	18438	-
VOLUMEN DEL MOLDE DE ENSAYO, m³	14020	MASA DEL MOLDE + MATERIAL, g (3ra Prueba)	17574	-	MASA DEL MOLDE + MATERIAL, g (1ra Prueba)	18509	-
CÁLCULO DE DENSIDAD BULK SECA	$M = \frac{G - T}{V}$	(G) MASA DEL MOLDE + MATERIAL, g (PROMEDIO)	17646	-	(G) MASA DEL MOLDE + MATERIAL, g (PROMEDIO)	18433	-
		(M-Msss) DENSIDAD BULK, Kg/m³	1258,63	1259,25	(M-Msss) DENSIDAD BULK, Kg/m³	1314,76	1315,41
		PESO UNITARIO, N/m³	12347,17	12353,22	PESO UNITARIO, N/m³	12897,84	12904,16
CÁLCULO DE DENSIDAD BULK SSS		% DE VACÍOS	43,80	46,40	% DE VACÍOS	41,29	44,01
$M_{SSS} = M \left[1 + \left(\frac{A}{100} \right) \right]$		DATOS ESTABLECIDOS EN EL ENSAYO INV E-222-13 (AGREGADO FINO) O INV E-223-13 (AGREGADO GRUESO) SEGÚN APLIQUE AL TIPO DE MATERIAL Y LAS CONDICIONES DE ENSAYO					
		(S) GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DEL AGREGADO DE ENSAYO, adimensional	2,245	2,355	(S) GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DEL AGREGADO DE ENSAYO, adimensional	2,245	2,355
CÁLCULO DE % DE VACÍOS		TEMPERATURA DEL AGUA DE ENSAYO, °C	23		TEMPERATURA DEL AGUA DE ENSAYO, °C	23	
$\% \text{ vacíos} = \frac{(S \times \rho_w) - M}{S \times \rho_w} \times 100$		(Pw) DENSIDAD DEL AGUA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO, Kg/cm³	997,54		(Pw) DENSIDAD DEL AGUA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO, Kg/cm³	997,54	
		(A) ABSORCIÓN, %	4,9%		(A) ABSORCIÓN, %	4,9%	
OBSERVACIONES:							
FIN DEL INFORME							

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia	INFORME DE ENSAYO				REALIZADO POR																																																																																																																																																																					
	RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37,5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LO ÁNGELES (INV E-218-13)				MICHAEL ANDRÉS CAMACHO JHON JAIRO SUAREZ																																																																																																																																																																					
PROYECTO:	Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino				FECHA DE ENSAYO:	5 de mayo de 2025																																																																																																																																																																				
DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE																																																																																																																																																																										
DESCRIPCIÓN DE MATERIAL:	Grava	FECHA DE TOMA:	3 de mayo de 2025	⁽¹⁾ CLASIFICACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIÓN:	Grava 1/2" (NTC)	NTC 174. Tabla 7, No. 7																																																																																																																																																																				
ESPECIFICACIÓN:	NTC 174	ABSCISA INICIAL:	N/A	LOCALIZACIÓN:	N/A																																																																																																																																																																					
PROCEDENCIA:	Material Granular de la Facultad	ABSCISA FINAL:	N/A	TOMA DE LA MUESTRA	N/A																																																																																																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">DESGASTE MÁQUINA DE LOS ANGELES</th> </tr> <tr> <th colspan="2">CONDICIONES DE LAS PRUEBAS</th> <th>REGISTRO DE RESULTADO A 100 REVOLUCIONES-CONDICIÓN SECA</th> <th>REGISTRO DE RESULTADO A 500 REVOLUCIONES-CONDICIÓN SECA</th> <th>REGISTRO DE RESULTADO A 500 REVOLUCIONES-CONDICIÓN SATURADA</th> <th colspan="4">GRADACIONES PERMITIDAS Y MASA CORRESPONDIENTES SEGÚN FE DE ERRATAS - TABLA 218-1 INV E-218-13</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL, mm</td> <td colspan="3">12,5</td> <td colspan="4"> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMAÑOS DE TAMIZ</th> <th colspan="4">MASAS DE LAS DIFERENTES FRACCIONES, g</th> </tr> <tr> <th>PASA TAMIZ</th> <th>RETENIDO EN TAMIZ</th> <th colspan="4">GRANULOMETRÍAS</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>37.5 (1 1/2")</td> <td>25.0 (1")</td> <td>1250 ± 25</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>25.0 (1")</td> <td>19.0 (3/4")</td> <td>1250 ± 25</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>19.0 (3/4")</td> <td>12.5 (1/2")</td> <td>1250 ± 10</td> <td>2500 ± 10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12.5 (1/2")</td> <td>9.5 (3/8")</td> <td>1250 ± 10</td> <td>2500 ± 10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9.5 (3/8")</td> <td>6.3 (1/4")</td> <td></td> <td></td> <td>2500 ± 10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6.3 (1/4")</td> <td>4.75 (No.4)</td> <td></td> <td></td> <td>2500 ± 10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4.75 (No.4)</td> <td>2.36 (No.8)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5000 ± 10</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Total</td> <td>5000 ± 10</td> <td>5000 ± 10</td> <td>5000 ± 10</td> <td>5000 ± 10</td> </tr> </tbody> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="2">GRADACIÓN USADA</td> <td colspan="3">B</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Nº DE ESFERAS</td> <td colspan="3">11</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Nº DE REVOLUCIONES</td> <td colspan="3">500</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>P1</td> <td>MASA MUESTRA SECA ANTES DE ENSAYO, g</td> <td colspan="3">5000</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>P2</td> <td>MASA MUESTRA SECA DESPUÉS DEL ENSAYO, g</td> <td colspan="3">3316</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">P1 - P2 = PÉRDIDA, g</td> <td colspan="3">1684</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">PORCENTAJE DE DESGASTE, %</td> <td colspan="3">34%</td> <td colspan="4"> CÁLCULO PARA DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE PÉRDIDA $\% \text{ pérdidas} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$ </td> </tr> <tr> <td colspan="2">RELACIÓN HÚMEDO/SECO 500 REVOLUCIONES</td> <td colspan="3"></td> <td colspan="4"></td> </tr> </tbody> </table>							DESGASTE MÁQUINA DE LOS ANGELES								CONDICIONES DE LAS PRUEBAS		REGISTRO DE RESULTADO A 100 REVOLUCIONES-CONDICIÓN SECA	REGISTRO DE RESULTADO A 500 REVOLUCIONES-CONDICIÓN SECA	REGISTRO DE RESULTADO A 500 REVOLUCIONES-CONDICIÓN SATURADA	GRADACIONES PERMITIDAS Y MASA CORRESPONDIENTES SEGÚN FE DE ERRATAS - TABLA 218-1 INV E-218-13				TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL, mm		12,5			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMAÑOS DE TAMIZ</th> <th colspan="4">MASAS DE LAS DIFERENTES FRACCIONES, g</th> </tr> <tr> <th>PASA TAMIZ</th> <th>RETENIDO EN TAMIZ</th> <th colspan="4">GRANULOMETRÍAS</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>37.5 (1 1/2")</td> <td>25.0 (1")</td> <td>1250 ± 25</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>25.0 (1")</td> <td>19.0 (3/4")</td> <td>1250 ± 25</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>19.0 (3/4")</td> <td>12.5 (1/2")</td> <td>1250 ± 10</td> <td>2500 ± 10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12.5 (1/2")</td> <td>9.5 (3/8")</td> <td>1250 ± 10</td> <td>2500 ± 10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9.5 (3/8")</td> <td>6.3 (1/4")</td> <td></td> <td></td> <td>2500 ± 10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6.3 (1/4")</td> <td>4.75 (No.4)</td> <td></td> <td></td> <td>2500 ± 10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4.75 (No.4)</td> <td>2.36 (No.8)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5000 ± 10</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Total</td> <td>5000 ± 10</td> <td>5000 ± 10</td> <td>5000 ± 10</td> <td>5000 ± 10</td> </tr> </tbody> </table>				TAMAÑOS DE TAMIZ		MASAS DE LAS DIFERENTES FRACCIONES, g				PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRANULOMETRÍAS						A	B	C	D	37.5 (1 1/2")	25.0 (1")	1250 ± 25				25.0 (1")	19.0 (3/4")	1250 ± 25				19.0 (3/4")	12.5 (1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10			12.5 (1/2")	9.5 (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10			9.5 (3/8")	6.3 (1/4")			2500 ± 10		6.3 (1/4")	4.75 (No.4)			2500 ± 10		4.75 (No.4)	2.36 (No.8)				5000 ± 10	Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	GRADACIÓN USADA		B							Nº DE ESFERAS		11							Nº DE REVOLUCIONES		500							P1	MASA MUESTRA SECA ANTES DE ENSAYO, g	5000							P2	MASA MUESTRA SECA DESPUÉS DEL ENSAYO, g	3316							P1 - P2 = PÉRDIDA, g		1684							PORCENTAJE DE DESGASTE, %		34%			CÁLCULO PARA DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE PÉRDIDA $\% \text{ pérdidas} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$				RELACIÓN HÚMEDO/SECO 500 REVOLUCIONES								
DESGASTE MÁQUINA DE LOS ANGELES																																																																																																																																																																										
CONDICIONES DE LAS PRUEBAS		REGISTRO DE RESULTADO A 100 REVOLUCIONES-CONDICIÓN SECA	REGISTRO DE RESULTADO A 500 REVOLUCIONES-CONDICIÓN SECA	REGISTRO DE RESULTADO A 500 REVOLUCIONES-CONDICIÓN SATURADA	GRADACIONES PERMITIDAS Y MASA CORRESPONDIENTES SEGÚN FE DE ERRATAS - TABLA 218-1 INV E-218-13																																																																																																																																																																					
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL, mm		12,5			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMAÑOS DE TAMIZ</th> <th colspan="4">MASAS DE LAS DIFERENTES FRACCIONES, g</th> </tr> <tr> <th>PASA TAMIZ</th> <th>RETENIDO EN TAMIZ</th> <th colspan="4">GRANULOMETRÍAS</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>37.5 (1 1/2")</td> <td>25.0 (1")</td> <td>1250 ± 25</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>25.0 (1")</td> <td>19.0 (3/4")</td> <td>1250 ± 25</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>19.0 (3/4")</td> <td>12.5 (1/2")</td> <td>1250 ± 10</td> <td>2500 ± 10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12.5 (1/2")</td> <td>9.5 (3/8")</td> <td>1250 ± 10</td> <td>2500 ± 10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9.5 (3/8")</td> <td>6.3 (1/4")</td> <td></td> <td></td> <td>2500 ± 10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6.3 (1/4")</td> <td>4.75 (No.4)</td> <td></td> <td></td> <td>2500 ± 10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4.75 (No.4)</td> <td>2.36 (No.8)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5000 ± 10</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Total</td> <td>5000 ± 10</td> <td>5000 ± 10</td> <td>5000 ± 10</td> <td>5000 ± 10</td> </tr> </tbody> </table>				TAMAÑOS DE TAMIZ		MASAS DE LAS DIFERENTES FRACCIONES, g				PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRANULOMETRÍAS						A	B	C	D	37.5 (1 1/2")	25.0 (1")	1250 ± 25				25.0 (1")	19.0 (3/4")	1250 ± 25				19.0 (3/4")	12.5 (1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10			12.5 (1/2")	9.5 (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10			9.5 (3/8")	6.3 (1/4")			2500 ± 10		6.3 (1/4")	4.75 (No.4)			2500 ± 10		4.75 (No.4)	2.36 (No.8)				5000 ± 10	Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10																																																																																																
TAMAÑOS DE TAMIZ		MASAS DE LAS DIFERENTES FRACCIONES, g																																																																																																																																																																								
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRANULOMETRÍAS																																																																																																																																																																								
		A	B	C	D																																																																																																																																																																					
37.5 (1 1/2")	25.0 (1")	1250 ± 25																																																																																																																																																																								
25.0 (1")	19.0 (3/4")	1250 ± 25																																																																																																																																																																								
19.0 (3/4")	12.5 (1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10																																																																																																																																																																							
12.5 (1/2")	9.5 (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10																																																																																																																																																																							
9.5 (3/8")	6.3 (1/4")			2500 ± 10																																																																																																																																																																						
6.3 (1/4")	4.75 (No.4)			2500 ± 10																																																																																																																																																																						
4.75 (No.4)	2.36 (No.8)				5000 ± 10																																																																																																																																																																					
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10																																																																																																																																																																					
GRADACIÓN USADA		B																																																																																																																																																																								
Nº DE ESFERAS		11																																																																																																																																																																								
Nº DE REVOLUCIONES		500																																																																																																																																																																								
P1	MASA MUESTRA SECA ANTES DE ENSAYO, g	5000																																																																																																																																																																								
P2	MASA MUESTRA SECA DESPUÉS DEL ENSAYO, g	3316																																																																																																																																																																								
P1 - P2 = PÉRDIDA, g		1684																																																																																																																																																																								
PORCENTAJE DE DESGASTE, %		34%			CÁLCULO PARA DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE PÉRDIDA $\% \text{ pérdidas} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$																																																																																																																																																																					
RELACIÓN HÚMEDO/SECO 500 REVOLUCIONES																																																																																																																																																																										
OBSERVACIONES:	NINGUNA																																																																																																																																																																									
----- FIN DEL INFORME -----																																																																																																																																																																										

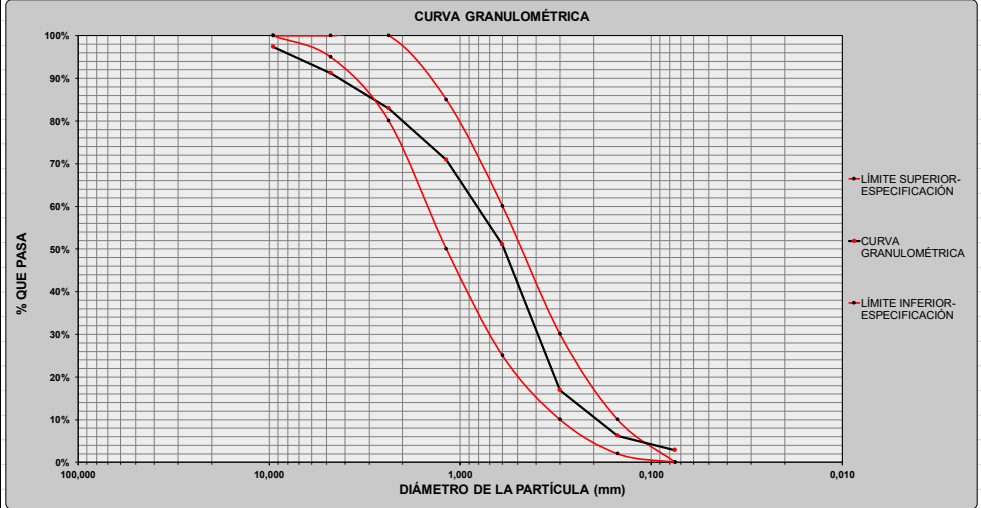
	INFORME DE ENSAYO				REALIZADO POR																																																																																																																						
	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO A LA DEGRADACIÓN POR ABRASIÓN UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL (INVE-238-13)				MICHAEL ANDRÉS CAMACHO																																																																																																																						
					JHON JAIRO SUAREZ																																																																																																																						
PROYECTO:	Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino			FECHA DE ENSAYO:	8 de mayo de 2025																																																																																																																						
DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE																																																																																																																											
DESCRIPCIÓN DE MATERIAL:	Grava	FECHA DE TOMA:	3 de mayo de 2025	CLASIFICACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIÓN:	Grava 1/2" (NTC)	NTC 174. Tabla 7, No. 7																																																																																																																					
ESPECIFICACIÓN:	NTC 174	ABSCISA INICIAL:	N/A	LOCALIZACIÓN:	N/A																																																																																																																						
PROCEDENCIA:	Material Granular de la Facultad	ABSCISA FINAL:	N/A	TOMA DE LA MUESTRA	N/A																																																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">REGISTRO DE DATOS DEL ENSAYO DESGASTE EN EL EQUIPO MICRO-DEVAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (mm)</td> <td>12,5</td> <td colspan="5">GRADACIÓN Y MASAS REQUERIDAS PARA UN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 19 mm (3/4")</td> </tr> <tr> <td>PESO DE ESFERAS, g</td> <td>5001</td> <td colspan="5"> <table border="1"> <thead> <tr> <th>PASA TAMIZ</th> <th>RETENIDO EN EL TAMIZ</th> <th>MASA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>19.0 mm</td> <td>16.0 mm</td> <td>375 g</td> </tr> <tr> <td>16.0 mm</td> <td>12.5 mm</td> <td>375 g</td> </tr> <tr> <td>12.5 mm</td> <td>9.5 mm</td> <td>750 g</td> </tr> </tbody> </table> </td> </tr> <tr> <td>VOLUMEN DE AGUA, Litros</td> <td>2</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td>TIEMPO, min</td> <td>120</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td>NÚMERO DE REVOLUCIONES</td> <td>10500</td> <td colspan="5">GRADACIÓN Y MASAS REQUERIDAS PARA UN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 12,5 mm (1/2")</td> </tr> <tr> <td>A MASA MUESTRA SECA ANTES DE ENSAYO, g</td> <td>1502</td> <td colspan="5"> <table border="1"> <thead> <tr> <th>PASA TAMIZ</th> <th>RETENIDO EN EL TAMIZ</th> <th>MASA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12.5 mm</td> <td>9.5 mm</td> <td>750 g</td> </tr> <tr> <td>9.5 mm</td> <td>6.3 mm</td> <td>375 g</td> </tr> <tr> <td>6.3 mm</td> <td>4.75 mm</td> <td>375 g</td> </tr> </tbody> </table> </td> </tr> <tr> <td>B MASA MUESTRA SECA DESPUÉS DEL ENSAYO, g</td> <td>1168,8</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td>A - B= PÉRDIDA, g</td> <td>333,2</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td>% DE PERDIDA</td> <td>22,2%</td> <td colspan="5">GRADACIÓN Y MASAS REQUERIDAS PARA UN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 9.5 mm (3/8")</td> </tr> <tr> <td>CÁLCULO PARA DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE PÉRDIDA</td> <td colspan="6"> <table border="1"> <thead> <tr> <th>PASA TAMIZ</th> <th>RETENIDO EN EL TAMIZ</th> <th>MASA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9.5 mm</td> <td>6.3 mm</td> <td>750 g</td> </tr> <tr> <td>6.3 mm</td> <td>4.75 mm</td> <td>750 g</td> </tr> </tbody> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> $\text{Porcentaje de pérdidas} = \frac{A - B}{A} \times 100$ </td> <td colspan="5"></td> </tr> </tbody> </table>							REGISTRO DE DATOS DEL ENSAYO DESGASTE EN EL EQUIPO MICRO-DEVAL							TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (mm)	12,5	GRADACIÓN Y MASAS REQUERIDAS PARA UN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 19 mm (3/4")					PESO DE ESFERAS, g	5001	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PASA TAMIZ</th> <th>RETENIDO EN EL TAMIZ</th> <th>MASA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>19.0 mm</td> <td>16.0 mm</td> <td>375 g</td> </tr> <tr> <td>16.0 mm</td> <td>12.5 mm</td> <td>375 g</td> </tr> <tr> <td>12.5 mm</td> <td>9.5 mm</td> <td>750 g</td> </tr> </tbody> </table>					PASA TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	MASA	19.0 mm	16.0 mm	375 g	16.0 mm	12.5 mm	375 g	12.5 mm	9.5 mm	750 g	VOLUMEN DE AGUA, Litros	2						TIEMPO, min	120						NÚMERO DE REVOLUCIONES	10500	GRADACIÓN Y MASAS REQUERIDAS PARA UN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 12,5 mm (1/2")					A MASA MUESTRA SECA ANTES DE ENSAYO, g	1502	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PASA TAMIZ</th> <th>RETENIDO EN EL TAMIZ</th> <th>MASA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12.5 mm</td> <td>9.5 mm</td> <td>750 g</td> </tr> <tr> <td>9.5 mm</td> <td>6.3 mm</td> <td>375 g</td> </tr> <tr> <td>6.3 mm</td> <td>4.75 mm</td> <td>375 g</td> </tr> </tbody> </table>					PASA TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	MASA	12.5 mm	9.5 mm	750 g	9.5 mm	6.3 mm	375 g	6.3 mm	4.75 mm	375 g	B MASA MUESTRA SECA DESPUÉS DEL ENSAYO, g	1168,8						A - B= PÉRDIDA, g	333,2						% DE PERDIDA	22,2%	GRADACIÓN Y MASAS REQUERIDAS PARA UN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 9.5 mm (3/8")					CÁLCULO PARA DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE PÉRDIDA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PASA TAMIZ</th> <th>RETENIDO EN EL TAMIZ</th> <th>MASA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9.5 mm</td> <td>6.3 mm</td> <td>750 g</td> </tr> <tr> <td>6.3 mm</td> <td>4.75 mm</td> <td>750 g</td> </tr> </tbody> </table>						PASA TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	MASA	9.5 mm	6.3 mm	750 g	6.3 mm	4.75 mm	750 g	$\text{Porcentaje de pérdidas} = \frac{A - B}{A} \times 100$						
REGISTRO DE DATOS DEL ENSAYO DESGASTE EN EL EQUIPO MICRO-DEVAL																																																																																																																											
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (mm)	12,5	GRADACIÓN Y MASAS REQUERIDAS PARA UN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 19 mm (3/4")																																																																																																																									
PESO DE ESFERAS, g	5001	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PASA TAMIZ</th> <th>RETENIDO EN EL TAMIZ</th> <th>MASA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>19.0 mm</td> <td>16.0 mm</td> <td>375 g</td> </tr> <tr> <td>16.0 mm</td> <td>12.5 mm</td> <td>375 g</td> </tr> <tr> <td>12.5 mm</td> <td>9.5 mm</td> <td>750 g</td> </tr> </tbody> </table>					PASA TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	MASA	19.0 mm	16.0 mm	375 g	16.0 mm	12.5 mm	375 g	12.5 mm	9.5 mm	750 g																																																																																																									
PASA TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	MASA																																																																																																																									
19.0 mm	16.0 mm	375 g																																																																																																																									
16.0 mm	12.5 mm	375 g																																																																																																																									
12.5 mm	9.5 mm	750 g																																																																																																																									
VOLUMEN DE AGUA, Litros	2																																																																																																																										
TIEMPO, min	120																																																																																																																										
NÚMERO DE REVOLUCIONES	10500	GRADACIÓN Y MASAS REQUERIDAS PARA UN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 12,5 mm (1/2")																																																																																																																									
A MASA MUESTRA SECA ANTES DE ENSAYO, g	1502	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PASA TAMIZ</th> <th>RETENIDO EN EL TAMIZ</th> <th>MASA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12.5 mm</td> <td>9.5 mm</td> <td>750 g</td> </tr> <tr> <td>9.5 mm</td> <td>6.3 mm</td> <td>375 g</td> </tr> <tr> <td>6.3 mm</td> <td>4.75 mm</td> <td>375 g</td> </tr> </tbody> </table>					PASA TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	MASA	12.5 mm	9.5 mm	750 g	9.5 mm	6.3 mm	375 g	6.3 mm	4.75 mm	375 g																																																																																																									
PASA TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	MASA																																																																																																																									
12.5 mm	9.5 mm	750 g																																																																																																																									
9.5 mm	6.3 mm	375 g																																																																																																																									
6.3 mm	4.75 mm	375 g																																																																																																																									
B MASA MUESTRA SECA DESPUÉS DEL ENSAYO, g	1168,8																																																																																																																										
A - B= PÉRDIDA, g	333,2																																																																																																																										
% DE PERDIDA	22,2%	GRADACIÓN Y MASAS REQUERIDAS PARA UN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 9.5 mm (3/8")																																																																																																																									
CÁLCULO PARA DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE PÉRDIDA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PASA TAMIZ</th> <th>RETENIDO EN EL TAMIZ</th> <th>MASA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9.5 mm</td> <td>6.3 mm</td> <td>750 g</td> </tr> <tr> <td>6.3 mm</td> <td>4.75 mm</td> <td>750 g</td> </tr> </tbody> </table>						PASA TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	MASA	9.5 mm	6.3 mm	750 g	6.3 mm	4.75 mm	750 g																																																																																																												
PASA TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	MASA																																																																																																																									
9.5 mm	6.3 mm	750 g																																																																																																																									
6.3 mm	4.75 mm	750 g																																																																																																																									
$\text{Porcentaje de pérdidas} = \frac{A - B}{A} \times 100$																																																																																																																											
OBSERVACIONES:	NINGUNA																																																																																																																										
FIN DEL INFORME																																																																																																																											

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia	INFORME DE ENSAYO				REALIZADO POR																																																																																																																																																																																																		
	PORCENTAJE DE PARTICULAS FACTURADAS EN UN AGREGADO GRUESO				MICHAEL ANDRÉS CAMACHO																																																																																																																																																																																																		
	INV E-227-13				JHON JAIR SUÁREZ																																																																																																																																																																																																		
PROYECTO:	Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino			FECHA DE ENSAYO:	8 de mayo de 2025																																																																																																																																																																																																		
DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE																																																																																																																																																																																																							
DESCRIPCIÓN DE MATERIAL:	Grava	FECHA DE TOMA:	3 de mayo de 2025	CLASIFICACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIÓN:	Grava 1/2" (NTC)	NTC 174. Tabla 7, No. 7																																																																																																																																																																																																	
ESPECIFICACIÓN:	NTC 174	ABSCISA INICIAL:	N/A	LOCALIZACIÓN:	N/A																																																																																																																																																																																																		
PROCEDENCIA:	Material Granular de la Facultad	ABSCISA FINAL:	N/A	TOMA DE LA MUESTRA	N/A																																																																																																																																																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CRITERIO DE EVALUACIÓN</th> <th>DOS CARAS</th> <th>PROCEDIMIENTO DE ENSAYO</th> <th colspan="3">POR MASA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="7">DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS QUE PRESENTAN 1 (UNA) CARA FRACTURADA</td> </tr> <tr> <th colspan="2">TAMICES</th> <th rowspan="2">Masa (g) o número de partículas iniciales para el ensayo</th> <th rowspan="2">Masa (g) o número de partículas que cumplen el criterio de 1 cara fracturada</th> <th rowspan="2">Masa (g) o número de partículas que no cumplen el criterio de 1 cara fracturada</th> <th rowspan="2">% Retenido en la Gradación original</th> <th rowspan="2">% Individual de partículas que presentan 1 cara fracturada</th> </tr> <tr> <th>PASA</th> <th>RET.</th> </tr> <tr> <td>3 1/2"</td> <td>3"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3"</td> <td>2 1/2"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 1/2"</td> <td>2"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2"</td> <td>1 1/2"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 1/2"</td> <td>1"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>3/4"</td> <td>42,2</td> <td>42,2</td> <td>0</td> <td>0,4%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>1/2"</td> <td>932,6</td> <td>932,6</td> <td>0</td> <td>8,9%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td>3310,2</td> <td>3310,2</td> <td>0</td> <td>31,7%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>N° 4</td> <td>4772</td> <td>4772</td> <td>0</td> <td>45,6%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td colspan="5">TOTALES</td> <td>86,6%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td colspan="5">PROMEDIO DEL AGREGADO CON 1 CARA FRACTURADA</td> <td colspan="2">100%</td> </tr> <tr> <td colspan="7">DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS QUE PRESENTAN 2 (DOS) O MÁS CARAS FRACTURADAS</td> </tr> <tr> <th colspan="2">TAMICES</th> <th rowspan="2">Masa (g) o número de partículas iniciales para el ensayo</th> <th rowspan="2">Masa (g) o número de partículas que cumplen el criterio de 2 o más caras fracturadas</th> <th rowspan="2">Masa (g) o número de partículas que no cumplen el criterio de 2 o más caras fracturadas</th> <th rowspan="2">% Retenido en la Gradación original</th> <th rowspan="2">% Individual de partículas que presentan 2 o más caras fracturadas</th> </tr> <tr> <th>PASA</th> <th>RET.</th> </tr> <tr> <td>3 1/2"</td> <td>3"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3"</td> <td>2 1/2"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 1/2"</td> <td>2"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2"</td> <td>1 1/2"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 1/2"</td> <td>1"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>3/4"</td> <td>42,2</td> <td>42,2</td> <td>0</td> <td>0,4%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>1/2"</td> <td>932,6</td> <td>932,6</td> <td>0</td> <td>8,9%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td>3310,2</td> <td>3310,2</td> <td>0</td> <td>31,7%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>N° 4</td> <td>4772</td> <td>4772</td> <td>0</td> <td>45,6%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td colspan="5">TOTALES</td> <td>86,6%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td colspan="5">PROMEDIO DEL AGREGADO CON 2 O MÁS CARAS FRACTURADAS</td> <td colspan="2">100%</td> </tr> </tbody> </table>							CRITERIO DE EVALUACIÓN		DOS CARAS	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	POR MASA			DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS QUE PRESENTAN 1 (UNA) CARA FRACTURADA							TAMICES		Masa (g) o número de partículas iniciales para el ensayo	Masa (g) o número de partículas que cumplen el criterio de 1 cara fracturada	Masa (g) o número de partículas que no cumplen el criterio de 1 cara fracturada	% Retenido en la Gradación original	% Individual de partículas que presentan 1 cara fracturada	PASA	RET.	3 1/2"	3"						3"	2 1/2"						2 1/2"	2"						2"	1 1/2"						1 1/2"	1"						1"	3/4"	42,2	42,2	0	0,4%	100%	3/4"	1/2"	932,6	932,6	0	8,9%	100%	1/2"	3/8"	3310,2	3310,2	0	31,7%	100%	3/8"	N° 4	4772	4772	0	45,6%	100%	TOTALES					86,6%	100%	PROMEDIO DEL AGREGADO CON 1 CARA FRACTURADA					100%		DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS QUE PRESENTAN 2 (DOS) O MÁS CARAS FRACTURADAS							TAMICES		Masa (g) o número de partículas iniciales para el ensayo	Masa (g) o número de partículas que cumplen el criterio de 2 o más caras fracturadas	Masa (g) o número de partículas que no cumplen el criterio de 2 o más caras fracturadas	% Retenido en la Gradación original	% Individual de partículas que presentan 2 o más caras fracturadas	PASA	RET.	3 1/2"	3"						3"	2 1/2"						2 1/2"	2"						2"	1 1/2"						1 1/2"	1"						1"	3/4"	42,2	42,2	0	0,4%	100%	3/4"	1/2"	932,6	932,6	0	8,9%	100%	1/2"	3/8"	3310,2	3310,2	0	31,7%	100%	3/8"	N° 4	4772	4772	0	45,6%	100%	TOTALES					86,6%	100%	PROMEDIO DEL AGREGADO CON 2 O MÁS CARAS FRACTURADAS					100%	
CRITERIO DE EVALUACIÓN		DOS CARAS	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	POR MASA																																																																																																																																																																																																			
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS QUE PRESENTAN 1 (UNA) CARA FRACTURADA																																																																																																																																																																																																							
TAMICES		Masa (g) o número de partículas iniciales para el ensayo	Masa (g) o número de partículas que cumplen el criterio de 1 cara fracturada	Masa (g) o número de partículas que no cumplen el criterio de 1 cara fracturada	% Retenido en la Gradación original	% Individual de partículas que presentan 1 cara fracturada																																																																																																																																																																																																	
PASA	RET.																																																																																																																																																																																																						
3 1/2"	3"																																																																																																																																																																																																						
3"	2 1/2"																																																																																																																																																																																																						
2 1/2"	2"																																																																																																																																																																																																						
2"	1 1/2"																																																																																																																																																																																																						
1 1/2"	1"																																																																																																																																																																																																						
1"	3/4"	42,2	42,2	0	0,4%	100%																																																																																																																																																																																																	
3/4"	1/2"	932,6	932,6	0	8,9%	100%																																																																																																																																																																																																	
1/2"	3/8"	3310,2	3310,2	0	31,7%	100%																																																																																																																																																																																																	
3/8"	N° 4	4772	4772	0	45,6%	100%																																																																																																																																																																																																	
TOTALES					86,6%	100%																																																																																																																																																																																																	
PROMEDIO DEL AGREGADO CON 1 CARA FRACTURADA					100%																																																																																																																																																																																																		
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS QUE PRESENTAN 2 (DOS) O MÁS CARAS FRACTURADAS																																																																																																																																																																																																							
TAMICES		Masa (g) o número de partículas iniciales para el ensayo	Masa (g) o número de partículas que cumplen el criterio de 2 o más caras fracturadas	Masa (g) o número de partículas que no cumplen el criterio de 2 o más caras fracturadas	% Retenido en la Gradación original	% Individual de partículas que presentan 2 o más caras fracturadas																																																																																																																																																																																																	
PASA	RET.																																																																																																																																																																																																						
3 1/2"	3"																																																																																																																																																																																																						
3"	2 1/2"																																																																																																																																																																																																						
2 1/2"	2"																																																																																																																																																																																																						
2"	1 1/2"																																																																																																																																																																																																						
1 1/2"	1"																																																																																																																																																																																																						
1"	3/4"	42,2	42,2	0	0,4%	100%																																																																																																																																																																																																	
3/4"	1/2"	932,6	932,6	0	8,9%	100%																																																																																																																																																																																																	
1/2"	3/8"	3310,2	3310,2	0	31,7%	100%																																																																																																																																																																																																	
3/8"	N° 4	4772	4772	0	45,6%	100%																																																																																																																																																																																																	
TOTALES					86,6%	100%																																																																																																																																																																																																	
PROMEDIO DEL AGREGADO CON 2 O MÁS CARAS FRACTURADAS					100%																																																																																																																																																																																																		
OBSERVACIONES:	NINGUNA																																																																																																																																																																																																						
----- FIN DEL INFORME -----																																																																																																																																																																																																							

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia	INFORME DE ENSAYO				REALIZADO POR													
	ÍNDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO				MICHAEL ANDRÉS CAMACHO													
	INV E - 230 - 13				JHON JAIRO SUÁREZ													
PROYECTO:	Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino			FECHA DE ENSAYO:	8 de mayo de 2025													
DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE																		
DESCRIPCIÓN DE MATERIAL:	Grava	FECHA DE TOMA:	3 de mayo de 2025	CLASIFICACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIÓN:	Grava 1/2" (NTC)	NTC 174. Tabla 7, No. 7												
ESPECIFICACIÓN:	NTC 174	ABSCISA INICIAL:	N/A	LOCALIZACIÓN:	N/A													
PROCEDENCIA:	Material Granular de la Facultad	ABSCISA FINAL:	N/A	TOMA DE LA MUESTRA	N/A													
<table border="1"> <tr> <td>MASA INICIAL SECA LAVADA UTILIZADA PARA EL ENSAYO ANTES DE TAMIZAR, g</td> <td>10140</td> <td>MASA INICIAL SECA UTILIZADA PARA ENSAYO DE APLANAMIENTO, g (M1)</td> <td>N/A</td> <td>MASA INICIAL SECA UTILIZADA PARA ENSAYO DE ALARGAMIENTO, g (M11)</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>MASA INICIAL SECA LAVADA UTILIZADA PARA EL ENSAYO DESPUÉS DE TAMIZAR, g</td> <td>7803,2</td> <td>MASA INICIAL SECA UTILIZADA PARA ENSAYO DE APLANAMIENTO, g (M2) -SI APLICA-</td> <td>7761</td> <td>MASA INICIAL SECA UTILIZADA PARA ENSAYO DE ALARGAMIENTO, g (M12) -SI APLICA-</td> <td>7761</td> </tr> </table>							MASA INICIAL SECA LAVADA UTILIZADA PARA EL ENSAYO ANTES DE TAMIZAR, g	10140	MASA INICIAL SECA UTILIZADA PARA ENSAYO DE APLANAMIENTO, g (M1)	N/A	MASA INICIAL SECA UTILIZADA PARA ENSAYO DE ALARGAMIENTO, g (M11)	N/A	MASA INICIAL SECA LAVADA UTILIZADA PARA EL ENSAYO DESPUÉS DE TAMIZAR, g	7803,2	MASA INICIAL SECA UTILIZADA PARA ENSAYO DE APLANAMIENTO, g (M2) -SI APLICA-	7761	MASA INICIAL SECA UTILIZADA PARA ENSAYO DE ALARGAMIENTO, g (M12) -SI APLICA-	7761
MASA INICIAL SECA LAVADA UTILIZADA PARA EL ENSAYO ANTES DE TAMIZAR, g	10140	MASA INICIAL SECA UTILIZADA PARA ENSAYO DE APLANAMIENTO, g (M1)	N/A	MASA INICIAL SECA UTILIZADA PARA ENSAYO DE ALARGAMIENTO, g (M11)	N/A													
MASA INICIAL SECA LAVADA UTILIZADA PARA EL ENSAYO DESPUÉS DE TAMIZAR, g	7803,2	MASA INICIAL SECA UTILIZADA PARA ENSAYO DE APLANAMIENTO, g (M2) -SI APLICA-	7761	MASA INICIAL SECA UTILIZADA PARA ENSAYO DE ALARGAMIENTO, g (M12) -SI APLICA-	7761													
PARTÍCULAS APLANADAS																		
TAMIZ		Masa inicial de cada fracción de ensayo, g (R _i)	% Retenido individual de cada fracción de ensayo (R _i /M ₁ O R _i /M ₁₁)	Masa de las partículas aplanadas de cada fracción que aplique, g (m _i)	(%) de partículas aplanadas de cada fracción (m/R _i)													
PASA	RETIENE																	
2 1/2"	2"	0,0	0%															
2"	1 1/2"	0,0	0%															
1 1/2"	1"	0,0	0%															
1"	3/4"	42,2	1%															
3/4"	1/2"	932,6	12%	363,7	39,0%													
1/2"	3/8"	3310,2	42%	926,9	28,0%													
3/8"	1/4"	3518,2	45%	985,1	28,0%													
MASA TOTAL DE LAS PARTÍCULAS APLANADAS, g (M3)					2285,5													
ÍNDICE DE APLANAMIENTO GLOBAL %					29%													
PARTÍCULAS ALARGADAS																		
TAMIZ		Masa inicial de cada fracción de ensayo, g (R _i)	% Retenido individual de cada fracción de ensayo (R _i /M ₂ O R _i /M ₁₂)	Masa de las partículas alargadas de cada fracción que aplique, g (n _i)	(%) de partículas alargadas de cada fracción (n _i /R _i)													
PASA	RETIENE																	
2"	1 1/2"	0,0	0%															
1 1/2"	1"	0,0	0%															
1"	3/4"	42,2	1%															
3/4"	1/2"	932,6	12%	93,3	10%													
1/2"	3/8"	3310,2	42%	993,1	30%													
3/8"	1/4"	3518,2	45%	914,7	26%													
MASA TOTAL DE LAS PARTÍCULAS ALARGADAS, g (M13)					2012,3													
ÍNDICE DE ALARGAMIENTO GLOBAL %					26%													
OBSERVACIONES:		NINGUNA																
----- FIN DEL INFORME -----																		

Anexo B.

Informes de Resultados de Laboratorio del Agregado Fino.

		INFORME DE ENSAYO						REALIZADO POR																																																																																																																																																																																																																																																											
		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (INV E-213-13) DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 75 µm (N°200) EN LOS AGREGADOS PÉTREOS MEDIANTE LAVADO (INV E-214-13) DETERMINACIÓN EN EL LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO-AGREGADO (INV E-122-13)						MICHAEL ANDRÉS CAMACHO																																																																																																																																																																																																																																																											
								JHON JAIRO SUAREZ																																																																																																																																																																																																																																																											
PROYECTO:	Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino					FECHA DE ENSAYO:	8 de mayo de 2025																																																																																																																																																																																																																																																												
DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE																																																																																																																																																																																																																																																																			
DESCRIPCIÓN DE MATERIAL:	Arena	FECHA DE TOMA:	3 de mayo de 2025		CLASIFICACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIÓN:	Arena para Concreto (NTC)		NTC 174 Numeral 6.1																																																																																																																																																																																																																																																											
ESPECIFICACIÓN:	NTC 174	ABSCISA INICIAL:	N/A		LOCALIZACIÓN:	N/A																																																																																																																																																																																																																																																													
PROCEDENCIA:	Material Granular de la Facultad	ABSCISA FINAL:	N/A		TOMA DE LA MUESTRA	N/A																																																																																																																																																																																																																																																													
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2" rowspan="2">LAVADO POR TAMIZ N°200 (INV E-214-13)</th><th colspan="2" rowspan="2">TAMIZ</th><th colspan="4">ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</th><th colspan="2">LÍMITES SEGÚN ESPECIFICACIÓN APLICABLE</th><th colspan="2">LÍMITES SEGÚN FÓRMULA DE TRABAJO</th></tr><tr><th>MASA RETENIDA EN CADA TAMIZ (g)</th><th>% RETENIDO</th><th>% RETENIDO ACUMULADO</th><th>% PASA</th><th>SUPERIOR</th><th>INFERIOR</th><th>SUPERIOR</th><th>INFERIOR</th></tr></thead><tbody><tr><td>MASA INICIAL DE LA MUESTRA ANTES DE LAVAR (g)</td><td>1652</td><td>3"</td><td>75</td><td>0</td><td>0,0%</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td>100</td><td>100</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>MASA INICIAL DE LA MUESTRA SECA DESPUÉS DE LAVADO (g)</td><td>1605</td><td>2 1/2"</td><td>63,5</td><td>0</td><td>0,0%</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td>100</td><td>100</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td></td><td>2"</td><td>50,8</td><td>0</td><td>0,0%</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td>100</td><td>100</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>MASA TOTAL DE MATERIAL PASA TAMIZ N°200 (g)</td><td>47</td><td>1 1/2"</td><td>38,1</td><td>0</td><td>0,0%</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td>100</td><td>100</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td></td><td>1"</td><td>25,4</td><td>0</td><td>0,0%</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td>100</td><td>100</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>% DE MATERIAL PASA TAMIZ N°200</td><td>2,8%</td><td>3/4"</td><td>19,05</td><td>0</td><td>0,0%</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td>100</td><td>100</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td></td><td>1/2"</td><td>12,7</td><td>6,6</td><td>0,4%</td><td>0,4%</td><td>99,6%</td><td>100</td><td>100</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td colspan="2">DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (INV E-122-13)</td><td>3/8"</td><td>9,52</td><td>37,8</td><td>2,3%</td><td>2,7%</td><td>97,3%</td><td>100</td><td>100</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td></td><td>N°4</td><td>4,75</td><td>100,9</td><td>6,1%</td><td>8,8%</td><td>91,2%</td><td>100</td><td>95</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>N° DE RECIPIENTE</td><td>-</td><td>N°8</td><td>2,36</td><td>136,7</td><td>8,3%</td><td>17,1%</td><td>82,9%</td><td>100</td><td>80</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td></td><td>N°10</td><td>2</td><td>38,9</td><td>2,4%</td><td>19,4%</td><td>80,6%</td><td>-</td><td>-</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>M1</td><td>MASA HUMEDA DEL MATERIAL + MASA DE MASA SECA DEL MATERIAL + MASA DE RECIPIENTE (g)</td><td>N°16</td><td>1,18</td><td>160,2</td><td>9,7%</td><td>29,1%</td><td>70,9%</td><td>85</td><td>50</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td>1894</td><td>N°30</td><td>0,595</td><td>328,7</td><td>19,9%</td><td>49,0%</td><td>51,0%</td><td>60</td><td>25</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>M2</td><td>MASA SECA DEL MATERIAL + MASA DE RECIPIENTE (g)</td><td>N°40</td><td>0,42</td><td>284,4</td><td>17,2%</td><td>66,2%</td><td>33,8%</td><td>-</td><td>-</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td>1766</td><td>N°50</td><td>0,3</td><td>279,1</td><td>16,9%</td><td>83,1%</td><td>16,9%</td><td>30</td><td>10</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>M3</td><td>MASA DEL RECIPIENTE (g)</td><td>N°100</td><td>0,15</td><td>175,5</td><td>10,6%</td><td>93,8%</td><td>6,2%</td><td>10</td><td>2</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td>114</td><td>N°200</td><td>0,075</td><td>56,3</td><td>3,4%</td><td>97,2%</td><td>2,8%</td><td>0</td><td>0</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td>% DE HUMEDAD</td><td>7,7%</td><td>FONDO</td><td></td><td>47</td><td>2,8%</td><td>100,0%</td><td>0,0%</td><td>-</td><td>-</td><td>--</td><td>--</td></tr><tr><td></td><td></td><td>MÓDULO DE FINURA</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>												LAVADO POR TAMIZ N°200 (INV E-214-13)		TAMIZ		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				LÍMITES SEGÚN ESPECIFICACIÓN APLICABLE		LÍMITES SEGÚN FÓRMULA DE TRABAJO		MASA RETENIDA EN CADA TAMIZ (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	MASA INICIAL DE LA MUESTRA ANTES DE LAVAR (g)	1652	3"	75	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--	MASA INICIAL DE LA MUESTRA SECA DESPUÉS DE LAVADO (g)	1605	2 1/2"	63,5	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--			2"	50,8	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--	MASA TOTAL DE MATERIAL PASA TAMIZ N°200 (g)	47	1 1/2"	38,1	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--			1"	25,4	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--	% DE MATERIAL PASA TAMIZ N°200	2,8%	3/4"	19,05	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--			1/2"	12,7	6,6	0,4%	0,4%	99,6%	100	100	--	--	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (INV E-122-13)		3/8"	9,52	37,8	2,3%	2,7%	97,3%	100	100	--	--			N°4	4,75	100,9	6,1%	8,8%	91,2%	100	95	--	--	N° DE RECIPIENTE	-	N°8	2,36	136,7	8,3%	17,1%	82,9%	100	80	--	--			N°10	2	38,9	2,4%	19,4%	80,6%	-	-	--	--	M1	MASA HUMEDA DEL MATERIAL + MASA DE MASA SECA DEL MATERIAL + MASA DE RECIPIENTE (g)	N°16	1,18	160,2	9,7%	29,1%	70,9%	85	50	--	--		1894	N°30	0,595	328,7	19,9%	49,0%	51,0%	60	25	--	--	M2	MASA SECA DEL MATERIAL + MASA DE RECIPIENTE (g)	N°40	0,42	284,4	17,2%	66,2%	33,8%	-	-	--	--		1766	N°50	0,3	279,1	16,9%	83,1%	16,9%	30	10	--	--	M3	MASA DEL RECIPIENTE (g)	N°100	0,15	175,5	10,6%	93,8%	6,2%	10	2	--	--		114	N°200	0,075	56,3	3,4%	97,2%	2,8%	0	0	--	--	% DE HUMEDAD	7,7%	FONDO		47	2,8%	100,0%	0,0%	-	-	--	--			MÓDULO DE FINURA									
LAVADO POR TAMIZ N°200 (INV E-214-13)		TAMIZ		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				LÍMITES SEGÚN ESPECIFICACIÓN APLICABLE		LÍMITES SEGÚN FÓRMULA DE TRABAJO																																																																																																																																																																																																																																																									
				MASA RETENIDA EN CADA TAMIZ (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR																																																																																																																																																																																																																																																								
MASA INICIAL DE LA MUESTRA ANTES DE LAVAR (g)	1652	3"	75	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
MASA INICIAL DE LA MUESTRA SECA DESPUÉS DE LAVADO (g)	1605	2 1/2"	63,5	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
		2"	50,8	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
MASA TOTAL DE MATERIAL PASA TAMIZ N°200 (g)	47	1 1/2"	38,1	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
		1"	25,4	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
% DE MATERIAL PASA TAMIZ N°200	2,8%	3/4"	19,05	0	0,0%	0,0%	100,0%	100	100	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
		1/2"	12,7	6,6	0,4%	0,4%	99,6%	100	100	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (INV E-122-13)		3/8"	9,52	37,8	2,3%	2,7%	97,3%	100	100	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
		N°4	4,75	100,9	6,1%	8,8%	91,2%	100	95	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
N° DE RECIPIENTE	-	N°8	2,36	136,7	8,3%	17,1%	82,9%	100	80	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
		N°10	2	38,9	2,4%	19,4%	80,6%	-	-	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
M1	MASA HUMEDA DEL MATERIAL + MASA DE MASA SECA DEL MATERIAL + MASA DE RECIPIENTE (g)	N°16	1,18	160,2	9,7%	29,1%	70,9%	85	50	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
	1894	N°30	0,595	328,7	19,9%	49,0%	51,0%	60	25	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
M2	MASA SECA DEL MATERIAL + MASA DE RECIPIENTE (g)	N°40	0,42	284,4	17,2%	66,2%	33,8%	-	-	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
	1766	N°50	0,3	279,1	16,9%	83,1%	16,9%	30	10	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
M3	MASA DEL RECIPIENTE (g)	N°100	0,15	175,5	10,6%	93,8%	6,2%	10	2	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
	114	N°200	0,075	56,3	3,4%	97,2%	2,8%	0	0	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
% DE HUMEDAD	7,7%	FONDO		47	2,8%	100,0%	0,0%	-	-	--	--																																																																																																																																																																																																																																																								
		MÓDULO DE FINURA																																																																																																																																																																																																																																																																	
																																																																																																																																																																																																																																																																			
OBSERVACIONES:	NINGUNA																																																																																																																																																																																																																																																																		
FIN DEL INFORME																																																																																																																																																																																																																																																																			

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia	INFORME DE ENSAYO DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS INV E-125-13 LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS INV E-126-13				REALIZADO POR MICHAEL ANDRÉS CAMACHO JHON JAIRO SUAREZ	
	PROYECTO: Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino		FECHA DE ENSAYO: 8 de mayo de 2025			
	DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE					
DESCRIPCIÓN DE MATERIAL: Arena		FECHA DE TOMA: 3 de mayo de 2025		CLASIFICACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIÓN: Arena para Concreto (NTC)		NTC 174 Numeral 6.1
ESPECIFICACIÓN: NTC 174		ABSCISA INICIAL: N/A		LOCALIZACIÓN: N/A		
PROCEDENCIA: Material Granular de la Facultad		ABSCISA FINAL: N/A		TOMA DE LA MUESTRA N/A		
LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS (INV E-125-13)				CURVA DE FLUIDEZ		
MÉTODO DE ENSAYO A						
REGISTRO DE DATOS						
PRUEBA	1	2	3			
Nº DE GOLPES						
Nº RECIPIENTE						
MASA SUELO HUMEDO + RECIPIENTE (g)						
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (g)						
MASA RECIPIENTE (g)						
% HUMEDAD	NL	NL	NL			
% LÍMITE LÍQUIDO (Según método aplicable)		0%				
LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS (INV E-126-13)						
PRUEBA	1	2				
Nº DE RECIPIENTE						
MASA SUELO HUMEDO + RECIPIENTE (g)						
MASA SUELO SECO + RECIPIENTE (g)						
MASA RECIPIENTE (g)						
% DE HUMEDAD	NP	NP				
% LÍMITE PLÁSTICO		0%				
ÍNDICE DE PLASTICIDAD, %		0%				
OBSERVACIONES				NINGUNA		

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia	INFORME DE ENSAYO				REALIZADO POR																																																	
	EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS (INV E-133-13)				MICHAEL ANDRÉS CAMACHO																																																	
					JHON JAIRO SUAREZ																																																	
PROYECTO:	Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino				FECHA DE ENSAYO:	9 de mayo de 2025																																																
DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE																																																						
DESCRIPCIÓN DE MATERIAL:	Arena	FECHA DE TOMA:	3 de mayo de 2025	CLASIFICACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIÓN:	Arena para Concreto (NTC)	NTC 174 Numeral 6.1																																																
ESPECIFICACIÓN:	NTC 174	ABSCISA INICIAL:	N/A	LOCALIZACIÓN:	N/A																																																	
PROCEDENCIA:	Material Granular de la Facultad	ABSCISA FINAL:	N/A	TOMA DE LA MUESTRA:	N/A																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO</th> </tr> <tr> <th colspan="2">MÉTODO DE ENSAYO</th> <th colspan="4">B</th> </tr> <tr> <th colspan="2">MÉTODO DE AGITACIÓN</th> <th colspan="4">MANUAL</th> </tr> <tr> <th>PROBETA</th> <th>No.</th> <th>1</th> <th>2</th> <th colspan="2">3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LECTURA ARCILLA</td> <td>(mm)</td> <td>105</td> <td>105</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>LECTURA ARENA</td> <td>(mm)</td> <td>86</td> <td>85</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>EQUIVALENTE DE ARENA</td> <td>(%)</td> <td>82%</td> <td>81%</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>PROMEDIO</td> <td>(%)</td> <td colspan="4">81%</td> </tr> </tbody> </table>							RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO						MÉTODO DE ENSAYO		B				MÉTODO DE AGITACIÓN		MANUAL				PROBETA	No.	1	2	3		LECTURA ARCILLA	(mm)	105	105			LECTURA ARENA	(mm)	86	85			EQUIVALENTE DE ARENA	(%)	82%	81%			PROMEDIO	(%)	81%			
RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO																																																						
MÉTODO DE ENSAYO		B																																																				
MÉTODO DE AGITACIÓN		MANUAL																																																				
PROBETA	No.	1	2	3																																																		
LECTURA ARCILLA	(mm)	105	105																																																			
LECTURA ARENA	(mm)	86	85																																																			
EQUIVALENTE DE ARENA	(%)	82%	81%																																																			
PROMEDIO	(%)	81%																																																				
OBSERVACIONES:	NINGUNA			CÁLCULO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA $EA = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100$																																																		
----- FIN DEL INFORME -----																																																						

	INFORME DE ENSAYO				REALIZADO POR																																																																
	DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (INV E-222-13)				MICHAEL ANDRÉS CAMACHO																																																																
					JHON JAIRO SUAREZ																																																																
PROYECTO:	Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino				FECHA DE ENSAYO:	19 de mayo de 2025																																																															
DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE																																																																					
DESCRIPCIÓN DE MATERIAL:	Arena	FECHA DE TOMA:	3 de mayo de 2025	CLASIFICACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIÓN:	Arena para Concreto (NTC)	NTC 174 Numeral 6.1																																																															
ESPECIFICACIÓN:	NTC 174	ABSCISA INICIAL:	N/A	LOCALIZACIÓN:	N/A																																																																
PROCEDENCIA:	Material Granular de la Facultad	ABSCISA FINAL:	N/A	TOMA DE LA MUESTRA	N/A																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">REGISTRO DE DATOS INICIALES</th> <th colspan="3">RESULTADOS DEL ENSAYO</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2"></th> <th>N° DE ENSAYO</th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">N° DE ENSAYO</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>Gravedad Específica Seca al Horno, SH (adimensional)</td> <td>2,365</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Condición de preparación de la muestra</td> <td colspan="2">PRESENTA INMERSIÓN</td> <td>Gravedad Específica Condición SSS, (adimensional)</td> <td>2,481</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>Peso en aire de muestra seca, g</td> <td>476,6</td> <td>476,6</td> <td>Gravedad Específica Aparente, (adimensional)</td> <td>2,676</td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Peso del picnómetro lleno de agua, g</td> <td>654,6</td> <td>654,6</td> <td>Densidad Seca al Horno, Kg/m³</td> <td>2361</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Peso del picnómetro lleno de agua + muestra, g</td> <td>953,1</td> <td>953,1</td> <td>Densidad Condición SSS, Kg/m³</td> <td>2476</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td>Peso de muestra SSS, g</td> <td>500,0</td> <td>500,0</td> <td>Densidad Aparente, Kg/m³</td> <td>2671</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Temperatura de ensayo, °C</td> <td colspan="2">21</td> <td>Absorción, %</td> <td>4,7%</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							REGISTRO DE DATOS INICIALES				RESULTADOS DEL ENSAYO							N° DE ENSAYO	1	2	N° DE ENSAYO		1	2	Gravedad Específica Seca al Horno, SH (adimensional)	2,365		Condición de preparación de la muestra		PRESENTA INMERSIÓN		Gravedad Específica Condición SSS, (adimensional)	2,481		A	Peso en aire de muestra seca, g	476,6	476,6	Gravedad Específica Aparente, (adimensional)	2,676		B	Peso del picnómetro lleno de agua, g	654,6	654,6	Densidad Seca al Horno, Kg/m ³	2361		C	Peso del picnómetro lleno de agua + muestra, g	953,1	953,1	Densidad Condición SSS, Kg/m ³	2476		S	Peso de muestra SSS, g	500,0	500,0	Densidad Aparente, Kg/m ³	2671		Temperatura de ensayo, °C		21		Absorción, %	4,7%	
REGISTRO DE DATOS INICIALES				RESULTADOS DEL ENSAYO																																																																	
				N° DE ENSAYO	1	2																																																															
N° DE ENSAYO		1	2	Gravedad Específica Seca al Horno, SH (adimensional)	2,365																																																																
Condición de preparación de la muestra		PRESENTA INMERSIÓN		Gravedad Específica Condición SSS, (adimensional)	2,481																																																																
A	Peso en aire de muestra seca, g	476,6	476,6	Gravedad Específica Aparente, (adimensional)	2,676																																																																
B	Peso del picnómetro lleno de agua, g	654,6	654,6	Densidad Seca al Horno, Kg/m ³	2361																																																																
C	Peso del picnómetro lleno de agua + muestra, g	953,1	953,1	Densidad Condición SSS, Kg/m ³	2476																																																																
S	Peso de muestra SSS, g	500,0	500,0	Densidad Aparente, Kg/m ³	2671																																																																
Temperatura de ensayo, °C		21		Absorción, %	4,7%																																																																
TEMPERATURA DEL AGUA °C - DENSIDAD DEL AGUA (g/cm ³)		FORMULACIÓN																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TEMPERATURA (°C)</th> <th>DENSIDAD ABSOLUTA DEL AGUA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10</td><td>0.999728</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.999634</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.999526</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.999406</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.999278</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.999129</td></tr> <tr><td>16</td><td>0.998972</td></tr> <tr><td>17</td><td>0.998804</td></tr> <tr><td>18</td><td>0.998625</td></tr> <tr><td>19</td><td>0.998435</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.998234</td></tr> <tr><td>21</td><td>0.998022</td></tr> <tr><td>22</td><td>0.997801</td></tr> <tr><td>23</td><td>0.997569</td></tr> <tr><td>24</td><td>0.997327</td></tr> <tr><td>25</td><td>0.997075</td></tr> <tr><td>26</td><td>0.996814</td></tr> <tr><td>27</td><td>0.996544</td></tr> <tr><td>28</td><td>0.996264</td></tr> <tr><td>29</td><td>0.995976</td></tr> <tr><td>30</td><td>0.995678</td></tr> </tbody> </table>		TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD ABSOLUTA DEL AGUA	10	0.999728	11	0.999634	12	0.999526	13	0.999406	14	0.999278	15	0.999129	16	0.998972	17	0.998804	18	0.998625	19	0.998435	20	0.998234	21	0.998022	22	0.997801	23	0.997569	24	0.997327	25	0.997075	26	0.996814	27	0.996544	28	0.996264	29	0.995976	30	0.995678	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Gravedad Específica Seca al Horno SH</th> <th>VALORES DE DENSIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> $\text{Densidad relativa (gravedad específica) SH} = \frac{A}{(B + S - C)}$ </td> <td rowspan="4"> PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD SECA AL HORNO, DENSIDAD EN CONDICIÓN SSS Y LA DENSIDAD APARENTE SE REALIZA LA MULTIPLICACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA EN CADA UNA DE LAS 3 CONDICIONES Y LA DENSIDAD DEL AGUA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO. </td> </tr> <tr> <td> $\text{Gravedad Específica Condición SSS}$ $\text{Densidad relativa (gravedad específica) SSS} = \frac{S}{(B + S - C)}$ </td> </tr> <tr> <td> $\text{Gravedad Específica Aparente}$ $\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{(B + A - C)}$ </td> </tr> </tbody> </table>					Gravedad Específica Seca al Horno SH	VALORES DE DENSIDAD	$\text{Densidad relativa (gravedad específica) SH} = \frac{A}{(B + S - C)}$	PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD SECA AL HORNO, DENSIDAD EN CONDICIÓN SSS Y LA DENSIDAD APARENTE SE REALIZA LA MULTIPLICACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA EN CADA UNA DE LAS 3 CONDICIONES Y LA DENSIDAD DEL AGUA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO.	$\text{Gravedad Específica Condición SSS}$ $\text{Densidad relativa (gravedad específica) SSS} = \frac{S}{(B + S - C)}$	$\text{Gravedad Específica Aparente}$ $\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{(B + A - C)}$													
TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD ABSOLUTA DEL AGUA																																																																				
10	0.999728																																																																				
11	0.999634																																																																				
12	0.999526																																																																				
13	0.999406																																																																				
14	0.999278																																																																				
15	0.999129																																																																				
16	0.998972																																																																				
17	0.998804																																																																				
18	0.998625																																																																				
19	0.998435																																																																				
20	0.998234																																																																				
21	0.998022																																																																				
22	0.997801																																																																				
23	0.997569																																																																				
24	0.997327																																																																				
25	0.997075																																																																				
26	0.996814																																																																				
27	0.996544																																																																				
28	0.996264																																																																				
29	0.995976																																																																				
30	0.995678																																																																				
Gravedad Específica Seca al Horno SH	VALORES DE DENSIDAD																																																																				
$\text{Densidad relativa (gravedad específica) SH} = \frac{A}{(B + S - C)}$	PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD SECA AL HORNO, DENSIDAD EN CONDICIÓN SSS Y LA DENSIDAD APARENTE SE REALIZA LA MULTIPLICACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA EN CADA UNA DE LAS 3 CONDICIONES Y LA DENSIDAD DEL AGUA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO.																																																																				
$\text{Gravedad Específica Condición SSS}$ $\text{Densidad relativa (gravedad específica) SSS} = \frac{S}{(B + S - C)}$																																																																					
$\text{Gravedad Específica Aparente}$ $\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{(B + A - C)}$																																																																					
Fuente: INVIAS. (2013). INV E-734-13 Gravedad específica bulk y densidad de mezclas asfálticas. Tabla 734-1. Instituto Nacional de Vías. República de Colombia.																																																																					
OBSERVACIONES:	NINGUNA																																																																				

FIN DEL INFORME

		INFORME DE ENSAYO				REALIZADO POR	
		DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE LOS AGREGADOS EN ESTADO SUELTO Y COMPACTO (INV E-217-13)				MICHAEL ANDRÉS CAMACHO JHON JAIRO SUAREZ	
PROYECTO:		Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino			FECHA DE ENSAYO:		3 de mayo de 2025
DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE							
DESCRIPCIÓN DE MATERIAL:	Arena	FECHA DE TOMA:	3 de mayo de 2025	CLASIFICACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIÓN:	Arena para Concreto (NTC)	NTC 174. Numeral 6,1	
ESPECIFICACIÓN:	NTC 174	ABSCISA INICIAL:	N/A	LOCALIZACIÓN:	N/A		
PROCEDENCIA:	Material Granular de la Facultad	ABSCISA FINAL:	N/A	TOMA DE LA MUESTRA:	N/A		
DATOS INICIALES DEL ESPECÍMEN DE ENSAYO		RESULTADOS DEL ENSAYO					
		ESTADO SUELTO			ESTADO COMPACTO APISONADO		
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO, mm	4,75		CONDICIÓN SECA	CONDICIÓN SSS		CONDICIÓN SECA	CONDICIÓN SSS
MASA SECA UTILIZADA EN EL ENSAYO, g	10000	MASA DEL MOLDE + MATERIAL, g (1ra Prueba)	4188	-	MASA DEL MOLDE + MATERIAL, g (1ra Prueba)	4584	-
(T) MASA DEL MOLDE DE ENSAYO, g	2554	MASA DEL MOLDE + MATERIAL, g (2da Prueba)	4230	-	MASA DEL MOLDE + MATERIAL, g (1ra Prueba)	4484	-
VOLUMEN DEL MOLDE DE ENSAYO, m³	2557	MASA DEL MOLDE + MATERIAL, g (3ra Prueba)	4316	-	MASA DEL MOLDE + MATERIAL, g (1ra Prueba)	4634	-
CÁLCULO DE DENSIDAD BULK SECA	$M = \frac{G - T}{V}$	(G) MASA DEL MOLDE + MATERIAL, g (PROMEDIO)	4245	-	(G) MASA DEL MOLDE + MATERIAL, g (PROMEDIO)	4567	-
		(M-Masa) DENSIDAD BULK, Kg/m³	1660,02	1660,80	(M-Masa) DENSIDAD BULK, Kg/m³	1786,21	1787,05
		PESO UNITARIO, N/m³	16284,78	16292,43	PESO UNITARIO, N/m³	17522,70	17530,93
CÁLCULO DE DENSIDAD BULK SSS		% DE VACÍOS	29,67	32,93	% DE VACÍOS	24,32	27,83
$M_{SSS} = M \left[1 + \left(\frac{A}{100} \right) \right]$		DATOS ESTABLECIDOS EN EL ENSAYO INV E-222-13 (AGREGADO FINO) O INV E-223-13 (AGREGADO GRUESO) SEGÚN APLIQUE AL TIPO DE MATERIAL Y LAS CONDICIONES DE ENSAYO					
		(S) GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DEL AGREGADO DE ENSAYO, adimensional	2,365	2,481	(S) GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DEL AGREGADO DE ENSAYO, adimensional	2,365	2,481
CÁLCULO DE % DE VACÍOS		TEMPERATURA DEL AGUA DE ENSAYO, °C	21		TEMPERATURA DEL AGUA DE ENSAYO, °C	21	
$\% \text{ vacíos} = \frac{(S \times \rho_w) - M}{S \times \rho_w} \times 100$		(Pw) DENSIDAD DEL AGUA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO, Kg/m³	998,022		(Pw) DENSIDAD DEL AGUA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO, Kg/cm³	998,022	
		(A) ABSORCIÓN, %	4,7%		(A) ABSORCIÓN, %	4,7%	
OBSERVACIONES:							
FIN DEL INFORME							

Anexo C.

Informe de Resultado de Laboratorio del Cemento.

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia	INFORME DE ENSAYO				REALIZADO POR	
	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO				MICHAEL ANDRÉS CAMACHO	
					JHON JAIRO SUAREZ	
PROYECTO:	Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino				FECHA DE ENSAYO:	21 de mayo de 2025
DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE						
DESCRIPCIÓN DE MATERIAL:	Cemento	FECHA DE TOMA:	21 de mayo de 2025	CLASIFICACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIÓN:	Cemento de Uso General	NTC 121:2023
ESPECIFICACIÓN:	NTC 121	ABSCISA INICIAL:	N/A	LOCALIZACIÓN:	N/A	
PROCEDENCIA:	Cementos Argos	ABSCISA FINAL:	N/A	TOMA DE LA MUESTRA	N/A	
FORMULACIÓN A UTILIZAR		ENSAYO N°1		ENSAYO N°2		
$M_c = M_t - M_a$		(M _k) MASA DEL FRASCO CON KEROSENO, g	360,00	(M _k) MASA DEL FRASCO CON KEROSENO, g		
		(M _k) MASA DEL FRASCO CON KEROSENO+CEMENTO, g	423,83	(M _k) MASA DEL FRASCO CON KEROSENO+CEMENTO, g		
$V_c = V_f - V_i$		(M _c) MASA DE CEMENTO USADO, g	63,83	(M _c) MASA DE CEMENTO USADO, g		
		(V _i) VOLUMEN INICIAL, cm ³	0,6	(V _i) VOLUMEN INICIAL, cm ³		
$\rho = M_c / V_c$		(V _f) VOLUMEN FINAL, cm ³	21,3	(V _f) VOLUMEN FINAL, cm ³		
		(V _c) VOLUMEN DE CEMENTO, cm ³	20,7	(V _c) VOLUMEN DE CEMENTO, cm ³		
EL CÁLCULO DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA O DENSIDAD RELATIVA DEL CEMENTO, SE DETERMINA DIVIDIENDO LA DENSIDAD DEL CEMENTO CON LA DENSIDAD DEL AGUA A UNA TEMPERATURA DE 4°C, LA CUAL CORRESPONDE A 1 g/cm ³		(ρ) DENSIDAD DEL CEMENTO, g/cm ³	3,084	(ρ) DENSIDAD DEL CEMENTO, g/cm ³		
		GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO, adimensional	3,084	GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO, adimensional		
OBSERVACIONES:						

FIN DEL INFORME

Anexo D.

Informe de Resultado de Laboratorio del Cemento con adición de Hueso Bovino Calcinado.

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia	INFORME DE ENSAYO				REALIZADO POR	
	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO				MICHAEL ANDRÉS CAMACHO	
					JHON JAIRO SUAREZ	
PROYECTO:	Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino				FECHA DE ENSAYO:	17 de junio de 2025
DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE						
DESCRIPCIÓN DE MATERIAL:	Cemento	FECHA DE TOMA:	17 de junio de 2025	CLASIFICACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIÓN:	Cemento de Uso General	NTC 121:2023
ESPECIFICACIÓN:	NTC 121	ABSCISA INICIAL:	N/A	LOCALIZACIÓN:	N/A	
PROCEDENCIA:	Cementos Argos	ABSCISA FINAL:	N/A	TOMA DE LA MUESTRA	N/A	
FORMULACIÓN A UTILIZAR		ENSAYO N°1		ENSAYO N°2		
$M_c = M_t - M_a$		(M _k) MASA DEL FRASCO CON KEROSENO, g	361,25	(M _k) MASA DEL FRASCO CON KEROSENO, g	358,78	
		(M _k) MASA DEL FRASCO CON KEROSENO+CEMENTO, g	424,89	(M _k) MASA DEL FRASCO CON KEROSENO+CEMENTO, g	422,43	
$V_c = V_f - V_i$		(M _c) MASA DE CEMENTO USADO, g	63,64	(M _c) MASA DE CEMENTO USADO, g	63,65	
		(V _i) VOLUMEN INICIAL, cm ³	0,70	(V _i) VOLUMEN INICIAL, cm ³	0,40	
$\rho = M_c / V_c$		(V _f) VOLUMEN FINAL, cm ³	22,20	(V _f) VOLUMEN FINAL, cm ³	21,70	
		(V _c) VOLUMEN DE CEMENTO, cm ³	21,50	(V _c) VOLUMEN DE CEMENTO, cm ³	21,30	
EL CÁLCULO DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA O DENSIDAD RELATIVA DEL CEMENTO, SE DETERMINA DIVIDIENDO LA DENSIDAD DEL CEMENTO CON LA DENSIDAD DEL AGUA A UNA TEMPERATURA DE 4°C, LA CUAL CORRESPONDE A 1 g/cm ³		(ρ) DENSIDAD DEL CEMENTO, g/cm ³	2,960	(ρ) DENSIDAD DEL CEMENTO, g/cm ³	2,988	
		GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO, adimensional	2,960	GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO, adimensional	2,988	
OBSERVACIONES:	EL ENSAYO N°1 CORRESPONDE A UNA SUSTITUCIÓN DEL 15% DEL CEMENTO CON HUESO BOVINO MOLIDO Y PROCESADO EL ENSAYO N°2 CORRESPONDE A UNA SUSTITUCIÓN DEL 10% DEL CEMENTO CON HUESO BOVINO MOLIDO Y PROCESADO					

FIN DEL INFORME

Anexo E.

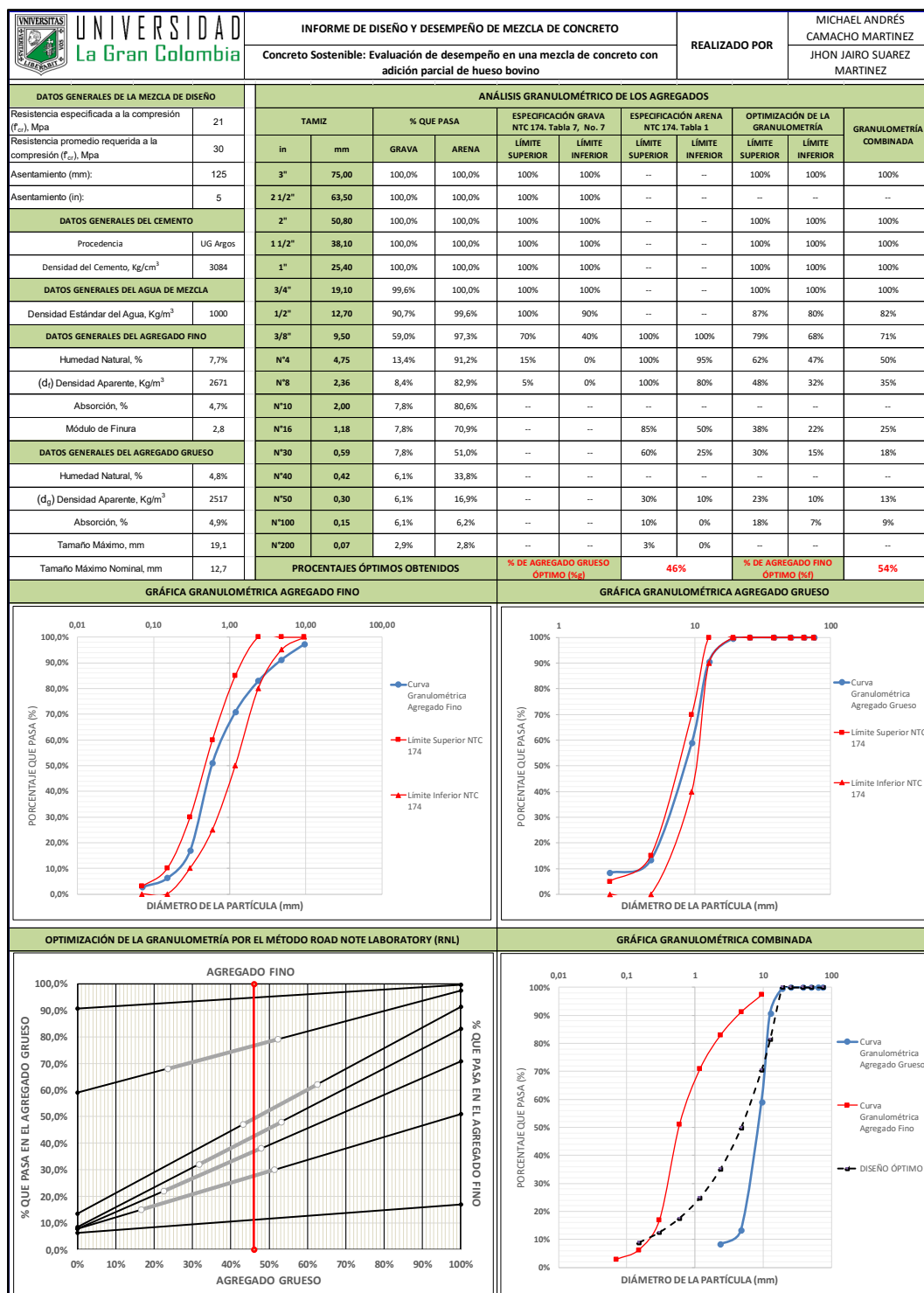
Informe de Resultado de Laboratorio del Hueso Bovino Calcinado.

UNIVERSIDAD La Gran Colombia		INFORME DE ENSAYO				REALIZADO POR	
		MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO				MICHAEL ANDRÉS CAMACHO JHON JAIRO SUAREZ	
PROYECTO:	Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino				FECHA DE ENSAYO:	15 de julio de 2025	
DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE							
DESCRIPCIÓN DE MATERIAL:	Cemento	FECHA DE TOMA:	15 de julio de 2025	CLASIFICACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIÓN:	Cemento de Uso General	NTC 121:2023	
ESPECIFICACIÓN:	NTC 121	ABSCISA INICIAL:	N/A	LOCALIZACIÓN:	N/A		
PROCEDENCIA:	Cementos Argos	ABSCISA FINAL:	N/A	TOMA DE LA MUESTRA	N/A		
FORMULACIÓN A UTILIZAR		ENSAYO N°1			ENSAYO N°2		
$M_c = M_t - M_a$		(M _k) MASA DEL FRASCO CON KEROSENO, g	362,15	(M _k) MASA DEL FRASCO CON KEROSENO, g			
		(M _k) MASA DEL FRASCO CON KEROSENO+CEMENTO, g	425,94	(M _k) MASA DEL FRASCO CON KEROSENO+CEMENTO, g			
$V_c = V_f - V_i$		(M _c) MASA DE CEMENTO USADO, g	63,79	(M _c) MASA DE CEMENTO USADO, g			
		(V _i) VOLUMEN INICIAL, cm ³	0,80	(V _i) VOLUMEN INICIAL, cm ³			
$\rho = M_c/V_c$		(V _f) VOLUMEN FINAL, cm ³	22,50	(V _f) VOLUMEN FINAL, cm ³			
		(V _c) VOLUMEN DE CEMENTO, cm ³	21,70	(V _c) VOLUMEN DE CEMENTO, cm ³			
EL CÁLCULO DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA O DENSIDAD RELATIVA DEL CEMENTO, SE DETERMINA DIVIDIENDO LA DENSIDAD DEL CEMENTO CON LA DENSIDAD DEL AGUA A UNA TEMPERATURA DE 4°C, LA CUAL CORRESPONDE A 1 g/cm ³		(ρ) DENSIDAD DEL CEMENTO, g/cm ³	2,940	(ρ) DENSIDAD DEL CEMENTO, g/cm ³			
		GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO, adimensional	2,940	GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO, adimensional			
OBSERVACIONES:							

FIN DEL INFORME

Anexo F.

Informe de Diseño de Mezcla de Concreto Convencional.



DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO									
ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE		REQUERIMIENTO DE AGUA DE MEZCLADO (MÉTODO N°2)							
TIPO DE CONTENIDO DE AIRE DETERMINADO	Naturalmente Atrapado								
% DE AIRE	2,5%								
ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (MÉTODO N°1)									
CONTENIDO DE AIRE	Sin Aire Incluido								
ASENTAMIENTO (cm)	8 a 10								
% DE AIRE ATRAPADO	2,5%								
CANTIDAD DE AGUA, Kg/cm³	215								
ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (MÉTODO N°2)									
TEXTURA DEL AGREGADO	TEXTURA ANGULAR								
ASENTAMIENTO (cm)	10								
TÁMAÑO MÁXIMO, mm	19 mm								
CANTIDAD DE AGUA, Kg/cm³	210								
ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA		ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA / CEMENTO							
CANTIDAD DE AGUA DETERMINADA, Kg/cm³	215	SE TOMA EL VALOR MAYOR ENTRE LOS DOS MÉTODOS ANTERIORMENTE MENCIONADOS							
ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA / CEMENTO									
RESISTENCIA REQUERIDA DE DISEÑO, Kg/cm²	300	Relación A/C: 0,45							
TIPO DE MEZCLA DE CONCRETO	Concreto Sin Aire Incluido								
RELACIÓN AGUA / CEMENTO	0,45								
ESTIMACIÓN DE LOS VOLUMENES DE LA MEZCLA DE CONCRETO									
COMPONENTE	MASA POR METRO CÚBICO, (Kg/m³)	DENSIDAD APARENTE, (Kg/m³)	VOLUMEN, (m³/m³)	PROPORCIÓN	VOLUMENES DE LA MEZCLA				
AGUA	215	1000	0,215	0,45	VOLUMEN AGUA + CEMENTO + AIRE + HUESO BOVINO MOLIDO, (m³/m³)		0,395		
CEMENTO	478	3084	0,155	2,22	V _{TA} VOLUMEN DE LOS AGREGADOS, (m³/m³)		0,605		
AIRE	0	0	0,025	0					
HUESO BOVINO MOLIDO	0	2940	0	0					
ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGREGADOS GRUESOS Y AGREGADOS FINOS									
PROMEDIO APARENTE DE LOS AGREGADOS		FÓRMULA N°1	ESTIMACIÓN MASA DE LOS AGREGADOS DE LA MEZCLA			FÓRMULAS			
DIFERENCIA ENTRE DENSIDADES APARENTES DE LOS AGREGADOS, Kg/cm³	5,9%	$d_{prom} = \frac{d_g \cdot d_f}{\%_g d_g + \%_f d_f}$	(W _{TA}) PESO TOTAL DE LOS AGREGADOS, Kg/cm³			1564,5		$W_{TA} = d_{prom} \cdot V_{TA}$	
SI LA DIFERENCIA ENTRE LAS DENSIDADES DE LOS AGREGADOS SUPERA EL 5%, SE DEBE UTILIZAR LA FÓRMULA N°1. DE LO CONTRARIO UTILICE LA FÓRMULA N°2		FÓRMULA N°2	(W _g) PESO DEL AGREGADO GRUESO, Kg/cm³			719,7		$W_g = W_{TA} \cdot \%_g$	
(d _{prom}) DENSIDAD PROMEDIO DE LOS AGREGADOS, Kg/cm³	2586	$d_{prom} = \%_g d_g + \%_f d_f$	(W _f) PESO DEL AGREGADO FINO, Kg/cm³			844,8		$W_f = W_{TA} \cdot \%_f$	
ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA EN LA MEZCLA									
(A _g) Agua por defecto/exceso del agregado grueso, Kg/cm³	0,72	ADICIONAR	CANTIDAD DE MEZCLA SEGÚN CAPACIDAD DE MEZCLADOR						
(A _f) Agua por exceso/defecto del agregado fino, Kg/cm³	-25,34	QUITAR	PROBETA	CANTIDAD	VOLUMEN (L/Probeta)	VOLUMEN TOTAL (L)	VOLUMEN POR TANDA DE MEZCLA (L)		
(A _{TA}) Agua por exceso/defecto total de los agregados, Kg/cm³	-24,62	QUITAR	Convencional	27	1,57	50,9	17,0		

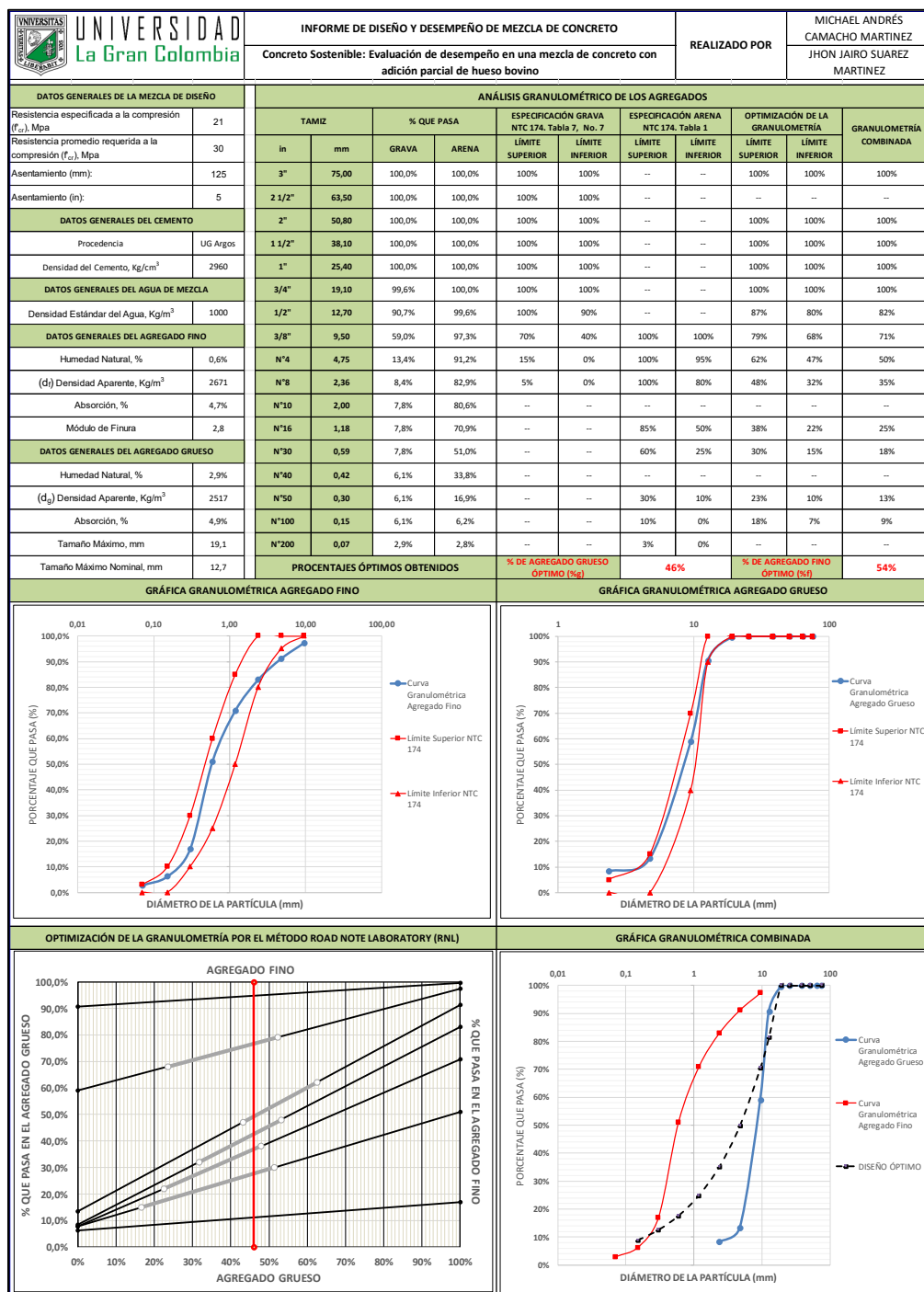
DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO														
DOSIFICACIÓN PARA:						DOSIFICACIÓN PARA:						17,0 Litros		
Material	Masa, Kg/m³	Porcentaje en Peso	Peso Húmedo, Kg/m³	Densidad Aparente, Kg/m³	Volumen, m³/m³	Material	Masa, Kg/m³	Porcentaje en Peso	Densidad Aparente, Kg/m³	Peso Húmedo, g/L	Volumen, L/L			
Agua	215	9,5%	190,4	1000	0,220	Agua	215	9,5%	1000	3230	3,73			
Cemento	478	21,2%	478,0	3084	0,150	Cemento	478	21,2%	3084	8108	2,54			
Aire	0	0,0%	0,0	0	0,025	Aire	0	0,0%	0	0	0,42			
Hueso Bovino Molido	0	0,0%	0,0	2940	0,000	Hueso Bovino Molido	0	0,0%	2940	0	0,00			
Agregado Grueso	719,7	31,9%	754,2	2517	0,290	Agregado Grueso	719,7	31,9%	2517	12792	4,92			
Agregado Fino	844,8	37,4%	909,8	2671	0,320	Agregado Fino	844,8	37,4%	2671	15432	5,43			
TOTAL	2257,5	100%	2332,4		1,00	TOTAL	2257,5	100%	12212	39562,0	17,0			
ASENTAMIENTO REGISTRADO SEGÚN CADA TANDA DE MEZCLA (NTC 396:2024)														
ASENTAMIENTO N°1: 75 mm (3")					ASENTAMIENTO N°2: 140 mm (5,5")					ASENTAMIENTO N°3: 175 mm (7")				
														
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO (INV E-410-13/NTC 673:2021)														
Slump (in)	Resistencia de Diseño	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Edad de Fallo	Longitud Promedio (mm)	Diámetro Promedio (mm)	Masa del Cilindro (g)	Densidad (Kg/m³)	Relación L/D	Carga Máxima (kN)	Esfuerzo (Mpa)	% de Desarrollo	Tipo de Falla	Temperatura Piscina de Curado (°C)
3	21	22/05/2025	29/05/2025	7	206,0	102,7	3838	2251,3	2,0	97,8	11,8	56,3%	4	19
5,5	21	22/05/2025	29/05/2025	7	202,5	101,6	3668	2236,4	2,0	97,8	12,1	57,5%	4	19
7	21	22/05/2025	29/05/2025	7	204,0	102,1	3756	2251,0	2,0	88,7	10,8	51,6%	4	19
3	21	22/05/2025	5/06/2025	14	204,6	102,1	3643	2175,3	2,0	144,1	17,6	83,8%	4	18
5,5	21	22/05/2025	5/06/2025	14	200,9	101,6	3632	2229,9	2,0	139,6	17,2	82,0%	4	18
7	21	22/05/2025	5/06/2025	14	200,5	100,2	3593	2275,4	2,0	132,9	16,9	80,3%	4	18
3	21	22/05/2025	19/06/2025	28	204,5	101,6	3746	2259,4	2,0	177,0	21,8	104,0%	4	19
3	21	22/05/2025	19/06/2025	28	206,5	101,4	3796	2276,4	2,0	177,0	21,9	104,4%	4	19
5,5	21	22/05/2025	19/06/2025	28	206,0	102,7	3786	2218,6	2,0	171,9	20,8	98,8%	2	19
5,5	21	22/05/2025	19/06/2025	28	204,5	101,7	3698	2226,1	2,0	163,6	20,1	95,9%	2	19
7	21	22/05/2025	19/06/2025	28	205,0	101,9	3770	2255,0	2,0	169,3	20,8	98,9%	2	19
7	21	22/05/2025	19/06/2025	28	205,0	102,6	3772	2225,5	2,0	172,9	20,9	99,6%	5	19
7	21	22/05/2025	19/06/2025	28	203,5	102,0	3786	2276,8	2,0	172,0	21,1	100,2%	3	19
3	21	22/05/2025	26/06/2025	35	203,0	103,2	3820	2251,8	2,0	189,7	22,7	108,1%	2	20
3	21	22/05/2025	26/06/2025	35	202,5	101,1	3608	2221,7	2,0	185,5	23,1	110,1%	2	20
3	21	22/05/2025	26/06/2025	35	201,0	101,5	3718	2286,1	2,0	184,3	22,8	108,5%	5	20
3	21	22/05/2025	26/06/2025	35	199,5	102,5	3760	2284,1	1,9	184,8	22,4	106,7%	5	20
5,5	21	22/05/2025	26/06/2025	35	204,5	102,5	3848	2282,6	2,0	187,1	22,7	108,1%	5	20
7	21	22/05/2025	26/06/2025	35	203,5	102,9	3826	2263,0	2,0	186,6	22,5	107,0%	2	20
7	21	22/05/2025	26/06/2025	35	204,0	101,7	3718	2243,6	2,0	179,3	22,1	105,1%	3	20
3	21	22/05/2025	3/07/2025	42	204,5	101,6	3736	2253,4	2,0	199,7	24,6	117,3%	5	19
3	21	22/05/2025	3/07/2025	42	204,0	102,2	3794	2269,3	2,0	216,2	26,4	125,6%	3	19
3	21	22/05/2025	3/07/2025	42	205,0	101,6	3746	2253,9	2,0	202,8	25,0	119,1%	5	19
5,5	21	22/05/2025	3/07/2025	42	203,0	102,3	3748	2246,3	2,0	202,4	24,6	117,2%	2	19
5,5	21	22/05/2025	3/07/2025	42	203,5	101,3	3682	2245,0	2,0	182,6	22,7	107,9%	5	19
7	21	22/05/2025	3/07/2025	42	202,5	101,8	3708	2249,7	2,0	179,8	22,1	105,2%	5	19
7	21	22/05/2025	3/07/2025	42	204,5	102,1	3782	2261,1	2,0	189,2	23,1	110,1%	2	19

REGISTRO FOTOGRÁFICO ESPECÍMENES DE ENSAYO									
EDAD DE ENSAYO 7 DÍAS					EDAD DE ENSAYO 14 DÍAS				
									
ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 5,5"	ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 5,5"					
EDAD DE ENSAYO 14 DÍAS					EDAD DE ENSAYO 28 DÍAS				
									
ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 5,5"	ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 5,5"					
EDAD DE ENSAYO 28 DÍAS					EDAD DE ENSAYO 35 DÍAS				
									
ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 3"					
EDAD DE ENSAYO 35 DÍAS									
									
ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 5,5"	ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 7"					
EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS									
									
ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 3"	ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 5,5"	ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 5,5"					
					EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS				
									
					ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 7"				
									
					ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 7"				



Anexo G.

Informe de Diseño de Mezcla de Concreto con Sustitución del 10% de Cemento por Hueso Bovino Calcinado.



DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO									
ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE		REQUERIMIENTO DE AGUA DE MEZCLADO (MÉTODO N°2)							
TIPO DE CONTENIDO DE AIRE DETERMINADO	Naturalmente Atrapado								
% DE AIRE	2,5%								
ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (MÉTODO N°1)									
CONTENIDO DE AIRE	Sin Aire Incluido								
ASENTAMIENTO (cm)	8 a 10								
% DE AIRE ATRAPADO	2,5%								
CANTIDAD DE AGUA, Kg/cm³	215								
ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (MÉTODO N°2)									
TEXTURA DEL AGREGADO	TEXTURA ANGULAR								
ASENTAMIENTO (cm)	10								
TÁMAÑO MÁXIMO, mm	19 mm								
CANTIDAD DE AGUA, Kg/cm³	210								
ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA									
CANTIDAD DE AGUA DETERMINADA, Kg/cm³	215								
SE TOMA EL VALOR MAYOR ENTRE LOS DOS MÉTODOS ANTERIORMENTE MENCIONADOS									
ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA / CEMENTO									
RESISTENCIA REQUERIDA DE DISEÑO, Kg/cm²	300								
TIPO DE MEZCLA DE CONCRETO	Concreto Sin Aire Incluido								
RELACIÓN AGUA / CEMENTO	0,45								
ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA / CEMENTO									
ESTIMACIÓN DE LOS VOLUMENES DE LA MEZCLA DE CONCRETO									
COMPONENTE	MASA POR METRO CÚBICO, (Kg/m³)	DENSIDAD APARENTE, (Kg/m³)	VOLUMEN, (m³/m³)	PROPORCIÓN	VOLUMENES DE LA MEZCLA				
AGUA	215	1000	0,215	0,45	VOLUMEN AGUA + CEMENTO + AIRE + HUESO BOVINO MOLIDO, (m³/m³)				
CEMENTO	430,2	2960	0,131	2,00	0,387				
AIRE	0	0	0,025	0	V _{TA} VOLUMEN DE LOS AGREGADOS, (m³/m³)				
HUESO BOVINO MOLIDO	47,8	2940	0,016	0,22	0,614				
ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGREGADOS GRUESOS Y AGREGADOS FINOS									
PROMEDIO APARENTE DE LOS AGREGADOS		FÓRMULA N°1		ESTIMACIÓN MASA DE LOS AGREGADOS DE LA MEZCLA			FÓRMULAS		
DIFERENCIA ENTRE DENSIDADES APARENTES DE LOS AGREGADOS, Kg/cm³	5,9%	$d_{prom} = \frac{d_g \cdot d_f}{\%_g d_g + \%_f d_f}$		(W _{TA}) PESO TOTAL DE LOS AGREGADOS, Kg/cm³			1586,5	$W_{TA} = d_{prom} \cdot V_{TA}$	
SI LA DIFERENCIA ENTRE LAS DENSIDADES DE LOS AGREGADOS SUPERA EL 5%, SE DEBE UTILIZAR LA FÓRMULA N°1, DE LO CONTRARIO UTILICE LA FÓRMULA N°2		FÓRMULA N°2		(W _g) PESO DEL AGREGADO GRUESO, Kg/cm³			729,8	$W_g = W_{TA} \cdot \%_g$	
(d _{prom}) DENSIDAD PROMEDIO DE LOS AGREGADOS, Kg/cm³	2586	$d_{prom} = \%_g d_g + \%_f d_f$		(W _f) PESO DEL AGREGADO FINO, Kg/cm³			856,7	$W_f = W_{TA} \cdot \%_f$	
ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA EN LA MEZCLA									
(A _g) Agua por defecto/exceso del agregado grueso, Kg/cm³	14,6	ADICIONAR	CANTIDAD DE MEZCLA SEGÚN CAPACIDAD DE MEZCLADOR						
(A _f) Agua por exceso/defecto del agregado fino, Kg/cm³	35,12	ADICIONAR	PROBETA	CANTIDAD	VOLUMEN (L/Probeta)	VOLUMEN TOTAL (L)	VOLUMEN POR TANDA DE MEZCLA (L)		
(A _{TA}) Agua por exceso/defecto total de los agregados, Kg/cm³	49,72	ADICIONAR	Convencional	27	1,57	50,9	17,0		

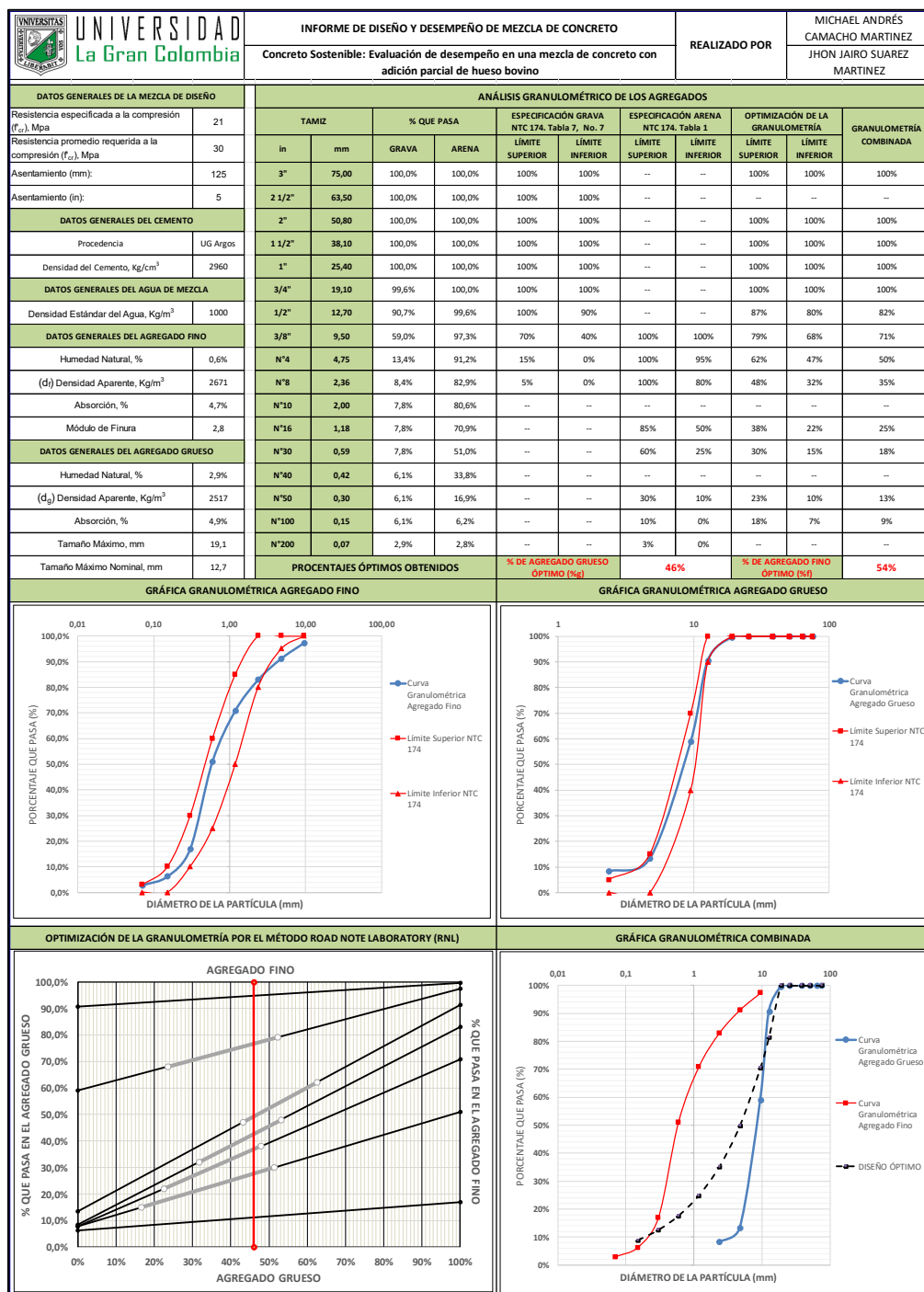
DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO														
DOSIFICACIÓN PARA:							DOSIFICACIÓN PARA:							
1 m³							17,0 Litros							
Material	Masa, Kg/m³	Porcentaje en Peso	Peso Húmedo, Kg/m³	Densidad Aparente, Kg/m³	Volumen, m³/m³		Material	Masa, Kg/m³	Porcentaje en Peso	Densidad Aparente, Kg/m³	Peso Húmedo, g/L	Volumen, L/L		
Agua	215	9,4%	264,7	1000	0,215		Agua	215	9,4%	1000	4490	3,65		
Cemento	430,2	18,9%	430,2	2960	0,145		Cemento	430,2	18,9%	2960	7298	2,46		
Aire	0	0,0%	0,0	0	0,025		Aire	0	0,0%	0	0	0,42		
Hueso Bovino Molido	47,8	2,1%	47,8	2940	0,016		Hueso Bovino Molido	47,8	2,1%	2940	812	0,27		
Agregado Grueso	729,8	32,0%	751,0	2517	0,290		Agregado Grueso	729,8	32,0%	2517	12738	4,92		
Agregado Fino	856,7	37,6%	861,8	2671	0,321		Agregado Fino	856,7	37,6%	2671	14618	5,44		
TOTAL	2279,5	100%	2355,5		1,00		TOTAL	2279,5	100%	12088	39956,0	17,2		
ASENTAMIENTO REGISTRADO SEGÚN CADA TANDA DE MEZCLA (NTC 396:2024)														
ASENTAMIENTO N°1: 150 mm (6")					ASENTAMIENTO N°2: 175 mm (7")					ASENTAMIENTO N°3: 200 mm (8")				
														
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO (INV E-410-13/NTC 673:2021)														
Slump (in)	Resistencia de Diseño	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Edad de Fallo	Longitud Promedio (mm)	Diámetro Promedio (mm)	Masa del Cilindro (g)	Densidad (Kg/m³)	Relación L/D	Carga Máxima (kN)	Esfuerzo (Mpa)	% de Desarrollo	Tipo de Falla	Temperatura Piscina de Curado (°C)
6	21	5/08/2025	12/08/2025	7	202,6	102,8	3694	2198,9	2,0	84,4	10,18	48,5%	5	18
7	21	5/08/2025	12/08/2025	7	203,6	101,6	3616	2190,7	2,0	76,7	9,46	45,0%	5	18
8	21	5/08/2025	12/08/2025	7	204,1	101,5	3684	2230,8	2,0	78,1	9,65	46,0%	5	18
6	21	5/08/2025	19/08/2025	14	202,7	101,4	3628	2216,4	2,0	100,7	12,47	59,4%	4	20
7	21	5/08/2025	19/08/2025	14	204,9	101,9	3676	2200,4	2,0	104,7	12,84	61,1%	2	20
8	21	5/08/2025	19/08/2025	14	205,2	101,9	3678	2200,5	2,0	107,9	13,24	63,0%	4	20
6	21	5/08/2025	2/09/2025	28	205,2	102,3	3708	2199,0	2,0	140,2	17,06	81,2%	4	20
6	21	5/08/2025	2/09/2025	28	202,5	101,6	3598	2192,1	2,0	130,4	16,08	76,6%	4	20
6	21	5/08/2025	2/09/2025	28	201,9	100,2	3500	2201,1	2,0	143,5	18,22	86,8%	5	20
7	21	5/08/2025	2/09/2025	28	203,7	101,8	3654	2203,9	2,0	135,5	16,65	79,3%	2	20
7	21	5/08/2025	2/09/2025	28	203,4	101,8	3600	2177,2	2,0	134,5	16,54	78,8%	2	20
8	21	5/08/2025	2/09/2025	28	203,5	102,1	3666	2200,9	2,0	142,9	17,45	83,1%	4	20
8	21	5/08/2025	2/09/2025	28	203,8	101,9	3668	2209,6	2,0	142,3	17,47	83,2%	4	20
6	21	5/08/2025	9/09/2025	35	203,9	103,2	3754	2203,7	2,0	155,3	18,58	88,5%	5	20
6	21	5/08/2025	9/09/2025	35	203,5	102,4	3710	2216,4	2,0	154,8	18,82	89,6%	4	20
7	21	5/08/2025	9/09/2025	35	202,7	101,7	3610	2193,0	2,0	152,9	18,82	89,6%	5	20
7	21	5/08/2025	9/09/2025	35	204,2	102,3	3712	2214,3	2,0	155,1	18,89	90,0%	4	20
7	21	5/08/2025	9/09/2025	35	203,3	102,2	3708	2225,5	2,0	155,1	18,93	90,1%	2	20
8	21	5/08/2025	9/09/2025	35	201,2	103,1	3668	2185,8	2,0	163,4	19,59	93,3%	2	20
8	21	5/08/2025	9/09/2025	35	203,0	102,0	3620	2185,0	2,0	155,8	19,09	90,9%	2	20
6	21	5/08/2025	16/09/2025	42	203,6	101,6	3660	2217,9	2,0	173,0	21,34	101,6%	2	19
6	21	5/08/2025	16/09/2025	42	204,5	103,0	3762	2207,8	2,0	172,7	20,73	98,7%	3	19
7	21	5/08/2025	16/09/2025	42	201,9	101,6	3658	2237,0	2,0	171,6	21,19	100,9%	2	19
7	21	5/08/2025	16/09/2025	42	203,4	102,7	3638	2161,2	2,0	172,4	20,83	99,2%	3	19
8	21	5/08/2025	16/09/2025	42	203,3	101,5	3668	2230,4	2,0	171,9	21,24	101,1%	3	19
8	21	5/08/2025	16/09/2025	42	203,5	101,2	3642	2227,7	2,0	170,1	21,17	100,8%	3	19
8	21	5/08/2025	16/09/2025	42	203,4	102,6	3644	2166,9	2,0	169,2	20,47	97,5%	3	19

REGISTRO FOTOGRÁFICO ESPECÍMENES DE ENSAYO									
EDAD DE ENSAYO 7 DÍAS					EDAD DE ENSAYO 14 DÍAS				
									
ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 6"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 8"	ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 6"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 7"					
EDAD DE ENSAYO 14 DÍAS					EDAD DE ENSAYO 28 DÍAS				
									
ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 8"	ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 6"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 6"	ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 7"					
EDAD DE ENSAYO 28 DÍAS					EDAD DE ENSAYO 35 DÍAS				
									
ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 8"	ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 8"	ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 8"	ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 6"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 6"					
EDAD DE ENSAYO 35 DÍAS									
									
ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 8"	ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 8"					
EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS									
									
ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 6"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 6"	ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 7"	ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 8"					
					EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS				
									
					ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 8"				
									
					ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 8"				



Anexo H.

Informe de Diseño de Mezcla de Concreto con Sustitución del 15% de Cemento por Hueso Bovino Calcinado.



DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO																																										
ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE		REQUERIMIENTO DE AGUA DE MEZCLADO (MÉTODO N°2)																																								
TIPO DE CONTENIDO DE AIRE DETERMINADO	Naturalmente Atrapado																																									
% DE AIRE	2,5%																																									
ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (MÉTODO N°1)																																										
CONTENIDO DE AIRE	Sin Aire Incluido																																									
ASENTAMIENTO (cm)	8 a 10																																									
% DE AIRE ATRAPADO	2,5%																																									
CANTIDAD DE AGUA, Kg/cm³	215																																									
ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (MÉTODO N°2)																																										
TEXTURA DEL AGREGADO	TEXTURA ANGULAR																																									
ASENTAMIENTO (cm)	10																																									
TÁMAÑO MÁXIMO, mm	19 mm	ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA / CEMENTO																																								
CANTIDAD DE AGUA, Kg/cm³	210																																									
ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA																																										
CANTIDAD DE AGUA DETERMINADA, Kg/cm³	215																																									
SE TOMA EL VALOR MAYOR ENTRE LOS DOS MÉTODOS ANTERIORMENTE MENCIONADOS																																										
ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA / CEMENTO																																										
RESISTENCIA REQUERIDA DE DISEÑO, Kg/cm²	300	ESTIMACIÓN DE LOS VOLUMENES DE LA MEZCLA DE CONCRETO																																								
TIPO DE MEZCLA DE CONCRETO	Concreto Sin Aire Incluido	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMPONENTE</th> <th>MASA POR METRO CÚBICO, (Kg/m³)</th> <th>DENSIDAD APARENTE, (Kg/m³)</th> <th>VOLUMEN, (m³/m³)</th> <th>PROPORCIÓN</th> <th colspan="2">VOLUMENES DE LA MEZCLA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AGUA</td> <td>215</td> <td>1000</td> <td>0,215</td> <td>0,45</td> <td>VOLUMEN AGUA + CEMENTO + AIRE + HUESO BOVINO MOLIDO, (m³/m³)</td> <td>0,380</td> </tr> <tr> <td>CEMENTO</td> <td>406,3</td> <td>2960</td> <td>0,116</td> <td>1,89</td> <td rowspan="2">V_{TA} VOLUMEN DE LOS AGREGADOS, (m³/m³)</td> <td rowspan="2">0,620</td> </tr> <tr> <td>AIRE</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,025</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>HUESO BOVINO MOLIDO</td> <td>71,7</td> <td>2940</td> <td>0,024</td> <td>0,33</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								COMPONENTE	MASA POR METRO CÚBICO, (Kg/m³)	DENSIDAD APARENTE, (Kg/m³)	VOLUMEN, (m³/m³)	PROPORCIÓN	VOLUMENES DE LA MEZCLA		AGUA	215	1000	0,215	0,45	VOLUMEN AGUA + CEMENTO + AIRE + HUESO BOVINO MOLIDO, (m³/m³)	0,380	CEMENTO	406,3	2960	0,116	1,89	V _{TA} VOLUMEN DE LOS AGREGADOS, (m³/m³)	0,620	AIRE	0	0	0,025	0	HUESO BOVINO MOLIDO	71,7	2940	0,024	0,33		
COMPONENTE	MASA POR METRO CÚBICO, (Kg/m³)	DENSIDAD APARENTE, (Kg/m³)	VOLUMEN, (m³/m³)	PROPORCIÓN	VOLUMENES DE LA MEZCLA																																					
AGUA	215	1000	0,215	0,45	VOLUMEN AGUA + CEMENTO + AIRE + HUESO BOVINO MOLIDO, (m³/m³)	0,380																																				
CEMENTO	406,3	2960	0,116	1,89	V _{TA} VOLUMEN DE LOS AGREGADOS, (m³/m³)	0,620																																				
AIRE	0	0	0,025	0																																						
HUESO BOVINO MOLIDO	71,7	2940	0,024	0,33																																						
RELACIÓN AGUA / CEMENTO	0,45	ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGREGADOS GRUESOS Y AGREGADOS FINOS																																								
PROMEDIO APARENTE DE LOS AGREGADOS		FÓRMULA N°1		ESTIMACIÓN MASA DE LOS AGREGADOS DE LA MEZCLA			FÓRMULAS																																			
DIFERENCIA ENTRE DENSIDADES APARENTES DE LOS AGREGADOS, Kg/cm³	5,9%	$d_{prom} = \frac{d_g \cdot d_f}{\%_g d_g + \%_f d_f}$		(W _{TA}) PESO TOTAL DE LOS AGREGADOS, Kg/cm³			1602,2	$W_{TA} = d_{prom} \cdot V_{TA}$																																		
SI LA DIFERENCIA ENTRE LAS DENSIDADES DE LOS AGREGADOS SUPERA EL 5%, SE DEBE UTILIZAR LA FÓRMULA N°1, DE LO CONTRARIO UTILICE LA FÓRMULA N°2		FÓRMULA N°2		(W _g) PESO DEL AGREGADO GRUESO, Kg/cm³			737	$W_g = W_{TA} \cdot \%_g$																																		
(d _{prom}) DENSIDAD PROMEDIO DE LOS AGREGADOS, Kg/cm³	2586	$d_{prom} = \%_g d_g + \%_f d_f$		(W _f) PESO DEL AGREGADO FINO, Kg/cm³			865,2	$W_f = W_{TA} \cdot \%_f$																																		
ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA EN LA MEZCLA		CANTIDAD DE MEZCLA SEGÚN CAPACIDAD DE MEZCLADOR																																								
(A _g) Agua por defecto/exceso del agregado grueso, Kg/cm³	14,74	ADICIONAR																																								
(A _f) Agua por exceso/defecto del agregado fino, Kg/cm³	35,47	ADICIONAR	PROBETA	CANTIDAD	VOLUMEN (L/Probeta)	VOLUMEN TOTAL (L)	VOLUMEN POR TANDA DE MEZCLA (L)																																			
(A _{TA}) Agua por exceso/defecto total de los agregados, Kg/cm³	50,21	ADICIONAR	Convencional	27	1,57	50,9	17,0																																			

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO														
DOSIFICACIÓN PARA:						DOSIFICACIÓN PARA:						17,0 Litros		
Material	Masa, Kg/m³	Porcentaje en Peso	Peso Húmedo, Kg/m³	Densidad Aparente, Kg/m³	Volumen, m³/m³	Material	Masa, Kg/m³	Porcentaje en Peso	Densidad Aparente, Kg/m³	Peso Húmedo, g/L	Volumen, L/L			
Agua	215	9,4%	265,2	1000	0,215	Agua	215	9,4%	1000	4498	3,65			
Cemento	406,3	17,7%	406,3	2960	0,137	Cemento	406,3	17,7%	2960	6892	2,32			
Aire	0	0,0%	0,0	0	0,025	Aire	0	0,0%	0	0	0,42			
Hueso Bovino Molido	71,7	3,1%	71,7	2940	0,024	Hueso Bovino Molido	71,7	3,1%	2940	1218	0,41			
Agregado Grueso	737	32,1%	758,4	2517	0,293	Agregado Grueso	737	32,1%	2517	12864	4,97			
Agregado Fino	865,2	37,7%	870,4	2671	0,324	Agregado Fino	865,2	37,7%	2671	14762	5,50			
TOTAL	2295,2	100%	2372,0		1,00	TOTAL	2295,2	100%	12088	40234,0	17,3			
ASENTAMIENTO REGISTRADO SEGÚN CADA TANDA DE MEZCLA (NTC 396:2024)														
ASENTAMIENTO N°1: 147 mm (5,8")					ASENTAMIENTO N°2: 174 mm (6,9")					ASENTAMIENTO N°3: 193 mm (7,6")				
														
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO (INV E-410-13/NTC 673:2021)														
Slump (in)	Resistencia de Diseño	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Edad de Fallo	Longitud Promedio (mm)	Diámetro Promedio (mm)	Masa del Cilindro (g)	Densidad (Kg/m³)	Relación L/D	Carga Máxima (kN)	Esfuerzo (Mpa)	% de Desarrollo	Tipo de Falla	Temperatura Piscina de Curado (°C)
5,8	21	24/07/2025	31/07/2025	7	200,9	100,1	3488	2208,4	2,0	48,8	6,21	29,6%	5	18
6,9	21	24/07/2025	31/07/2025	7	204,9	101,9	3638	2179,8	2,0	40,5	4,97	23,7%	5	18
7,6	21	24/07/2025	31/07/2025	7	202,2	102,0	3628	2198,5	2,0	47,1	5,77	27,5%	5	18
5,8	21	24/07/2025	7/08/2025	14	203,5	101,1	3622	2217,1	2,0	84,2	10,49	50,0%	5	20
6,9	21	24/07/2025	7/08/2025	14	207,0	101,9	3682	2181,1	2,0	69,1	8,47	40,3%	5	20
7,6	21	24/07/2025	7/08/2025	14	205,0	101,9	3680	2203,3	2,0	78,4	9,62	45,8%	5	20
5,8	21	24/07/2025	21/08/2025	28	202,4	101,8	3606	2191,6	2,0	100,6	12,37	58,9%	3	19
5,8	21	24/07/2025	21/08/2025	28	203,3	101,9	3638	2197,0	2,0	100,3	12,31	58,6%	4	19
5,8	21	24/07/2025	21/08/2025	28	203,1	102,6	3700	2205,6	2,0	102,7	12,43	59,2%	2	19
6,9	21	24/07/2025	21/08/2025	28	203,6	102,1	3628	2179,1	2,0	97,9	11,97	57,0%	2	19
6,9	21	24/07/2025	21/08/2025	28	202,9	101,8	3610	2186,5	2,0	97,8	12,02	57,2%	2	19
7,6	21	24/07/2025	21/08/2025	28	203,2	102,5	3702	2207,9	2,0	91,5	11,09	52,8%	2	19
7,6	21	24/07/2025	21/08/2025	28	202,9	102,3	3602	2161,9	2,0	90,6	11,03	52,5%	2	19
5,8	21	24/07/2025	28/08/2025	35	201,8	100,9	3588	2224,2	2,0	108,6	13,58	64,7%	2	19
5,8	21	24/07/2025	28/08/2025	35	203,7	101,5	3656	2220,9	2,0	110,6	13,68	65,1%	2	19
6,9	21	24/07/2025	28/08/2025	35	202,8	101,3	3584	2194,9	2,0	114,5	14,22	67,7%	3	19
6,9	21	24/07/2025	28/08/2025	35	203,1	101,4	3592	2190,1	2,0	99,9	12,37	58,9%	2	19
6,9	21	24/07/2025	28/08/2025	35	200,3	102,4	3638	2205,4	2,0	108,1	13,13	62,5%	2	19
7,6	21	24/07/2025	28/08/2025	35	203,4	101,7	3636	2202,8	2,0	97,7	12,04	57,3%	2	19
7,6	21	24/07/2025	28/08/2025	35	201,5	102,5	3602	2168,5	2,0	102,8	12,47	59,4%	4	19
5,8	21	24/07/2025	4/09/2025	42	204,5	102,4	3708	2204,4	2,0	123,2	14,97	71,3%	4	20
5,8	21	24/07/2025	4/09/2025	42	203,5	102,7	3720	2209,4	2,0	119,4	14,43	68,7%	4	20
6,9	21	24/07/2025	4/09/2025	42	203,3	101,0	3598	2211,2	2,0	124,7	15,58	74,2%	3	20
6,9	21	24/07/2025	4/09/2025	42	204,0	101,9	3644	2192,5	2,0	123,2	15,12	72,0%	2	20
7,6	21	24/07/2025	4/09/2025	42	203,0	103,1	3638	2146,6	2,0	107,9	12,92	61,5%	2	20
7,6	21	24/07/2025	4/09/2025	42	203,4	101,3	3574	2182,9	2,0	107,8	13,39	63,8%	2	20
7,6	21	24/07/2025	4/09/2025	42	203,5	102,5	3642	2169,4	2,0	104,3	12,64	60,2%	2	20

REGISTRO FOTOGRÁFICO ESPECÍMENES DE ENSAYO									
EDAD DE ENSAYO 7 DÍAS					EDAD DE ENSAYO 14 DÍAS				
									
ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 5,8"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 6,9"	ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 7,6"	ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 5,8"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 6,9"					
EDAD DE ENSAYO 14 DÍAS					EDAD DE ENSAYO 28 DÍAS				
									
ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 7,6"	ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 5,8"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 5,8"	ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 5,8"	ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 6,9"					
EDAD DE ENSAYO 28 DÍAS					EDAD DE ENSAYO 35 DÍAS				
									
ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 6,9"	ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 7,6"	ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 7,6"	ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 5,8"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 5,8"					
EDAD DE ENSAYO 35 DÍAS									
									
ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 6,9"	ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 6,9"	ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 6,9"	ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 7,6"	ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 7,6"					
EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS									
									
ESPECÍMEN N°1 - ASENTAMIENTO DE 5,8"	ESPECÍMEN N°2 - ASENTAMIENTO DE 5,8"	ESPECÍMEN N°3 - ASENTAMIENTO DE 6,9"	ESPECÍMEN N°4 - ASENTAMIENTO DE 6,9"	ESPECÍMEN N°5 - ASENTAMIENTO DE 7,6"					
					EDAD DE ENSAYO 42 DÍAS				
									
					ESPECÍMEN N°6 - ASENTAMIENTO DE 7,6"				ESPECÍMEN N°7 - ASENTAMIENTO DE 7,6"



Anexo I.

Registro Fotográfico de la Investigación.

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA INVESTIGACIÓN		REALIZADO POR	MICHAEL ANDRÉS CAMACHO MARTINEZ
	Concreto Sostenible: Evaluación de desempeño en una mezcla de concreto con adición parcial de hueso bovino			JHON JAIRO SUAREZ MARTINEZ
CUARTEO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS			LAVADO DE MUESTRAS	
				
ENSAYOS DE LABORATORIO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS				
  				
  				
 				

ENSAYOS DE LABORATORIO DEL CEMENTO Y HUESO BOVINO CALCINADO**PREPARACIÓN Y PROCESO DE CLINKERIZACIÓN DEL HUESO BOVINO**