
Evaluación del comportamiento mecánico a compresión de morteros de control convencional y morteros con sustitución del agregado fino por residuo óseo seco de res.

Slendy Tatiana Puentes Hernández

Miguel Julián Cadena Meneses

**Trabajo de investigación presentado como requisito de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

Director(A):

MSC. Ludwing Pérez Bustos

Universidad Pontificia Bolivariana

Faculta de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2019

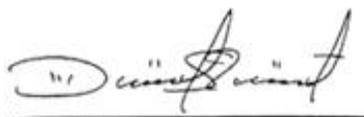
**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO A COMPRESIÓN DE
MORTEROS DE CONTROL CONVENCIONAL Y MORTEROS CON
SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR RESIDUO OSEO SECO DE RES.**

SLENDY TATIANA PUENTES HERNÁNDEZ

MIGUEL JULIAN CADENA MENESES

Trabajo de grado como requisito para optar al título de Ingeniero(a) Civil

DIRECTOR(a):



MSC. LUDWIG PÉREZ BUSTOS

Universidad Pontificia Bolivariana

Faculta de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2019

Dedicatoria

Este trabajo de grado es dedicado especialmente a nuestros padres Omar Cadena y a nuestras madres Dora Meneses y Fanny Puentes Hernández; quienes, con su amor, paciencia y esfuerzo, han sido nuestro apoyo en cada uno de los momentos difíciles de nuestra carrera. A mi familia especialmente a mis hermanos Vanessa Puentes, Giovanni Cadena, Omar Y. Cadena, Daniel Cadena, Felipe Cadena; por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso. Y una dedicación especial a mis abuelos, mi tía Ligia Puentes y a la memoria de Juan E. Pinzón, quienes impulsaron este proyecto de vida.

Agradecimientos

Agradecemos principalmente a Dios por darnos fortaleza y perseverancia para culminar este proyecto de grado; a nuestras familias por apoyarnos en cada una de las metas propuestas, también dar un profundo agradecimiento especial a nuestro Director de proyecto MSC. Ludwing Pérez Bustos por guiarnos en este proceso educativo; a la Universidad pontificia Bolivariana (UPB) por abrirnos las puertas en este proceso, permitiéndonos convertirnos en seres profesionales; a doña Gloria Peña y su hija Angie Tarazona, así como a su familia por su apoyo incondicional y por último a cada profesor que hizo parte de este proceso integral de formación en el transcurso de nuestra carrera.

Contenido

	Pág.
Introducción.....	20
1. Título.....	21
2. <i>Objetivos</i>	22
2.1 Objetivo General	22
2.2 Objetivo Especifico	22
3. Marco Teórico.....	23
3.1 Mortero.....	23
3.2 Componentes de morteros.....	24
3.2.1 Agua.....	24
3.2.2 Agua de amasado.....	24
3.2.3 Agua de curado.....	25
3.2.4 Arena	25
3.2.5 Cemento.....	26
3.2.6 Aditivos	27
3.3 Clasificación de los Mortero.	28
3.4 Usos de los Morteros.....	29

3.5 Propiedades de los morteros.....	30
3.5.1 En estado plástico.....	30
3.5.2 En estado endurecido.....	31
3.6 Características de los materiales	32
3.6.1 Cemento.....	33
3.6.2 Agua.....	33
3.6.3 Agregado Fino	33
3.7 Pasos a seguir para la dosificación deseada.	34
3.7.1 Selección de la fluidez.....	35
3.8 Determinación de la resistencia de dosificación.	37
3.8.1 Selección de la relación agua/cemento.	38
3.8.2 La Estimación del contenido de cemento.	40
3.8.3 Cálculo de la cantidad de agua.	41
3.8.4 Cálculo del contenido de agregado.....	42
3.8.5 Cálculo de las proporciones iniciales	43
3.8.6 Primera mezcla de prueba. Ajuste por humedad del agregado.....	43
3.9 Ajustes a la mezcla de prueba.	43
3.9.1 Ajuste por fluidez	43
3.9.2 Ajuste por resistencia.....	44
3.10 Material óseo	45

3.10.1 Selección de hueso con materia de remplazo.	45
3.10.2 Propiedades del material óseo	46
3.10.3 Proceso de preparación del hueso para la mezcla.....	52
3.11 Propiedades del hueso óseo en los cubos de morteros.....	54
3.11.1 Resistencia del hueso óseo en los cubos de mortero.	54
3.11.2 Aligeramiento del hueso óseo en los cubos de mortero.	54
3.12 Estadística descriptiva.....	55
3.12.1 Coeficiente de variación.	55
3.12.2 La desviación típica o desviación estándar:	56
3.12.3 Media aritmética:	56
3.12.4 Diagrama de caja.	57
4. Estado del Arte.....	58
5. Metodología	60
5.1 Información preliminar.	60
5.2 Ensayos preliminares.....	60
5.2.1 Diseño de mezclas para ensayos preliminares.....	61
5.2.2 Ensayo preliminar de mortero convencional con 140 ml de agua.....	62
5.2.3 Ensayo preliminar de mortero con sustitución de agregado fino por el 15% de residuo óseo de res 140 ml de agua.....	63

5.2.4 Ensayo preliminar de mortero con sustitución de agregado fino por el 50% de hueso de res 190 ml de agua.	64
5.2.5 Ensayo preliminar de mortero con sustitución de agregado fino por el 15% de hueso de res 120 ml de agua.	65
5.2.6 Ensayo preliminar de mortero con sustitución de agregado grueso por el 50% de hueso de res 120 ml de agua.	66
5.2.7 Tabla de resumen de las cargas de los morteros de los ensayos preliminares.....	68
5.3 Procedimiento.....	69
5.3.1 Selección del residuo óseo en plantas de procesamiento animal.....	69
5.3.2 Proceso de secado térmicamente del residuo óseo en zonas de poca humedad.	69
5.3.3 Implementación de la máquina de los ángeles en la obtención de material fino de residuo óseo seco de res.	70
5.3.4 Densidad de los cubos incorporando residuo óseo de res.	71
5.4 Caracterización de los materiales.	72
5.4.1 Diseño de mezcla del mortero.	88
6. Resultados.	97
6.1 Resultados de resistencia a la compresión de cubos de mortero convencionales	97
6.1.1 Resistencia de cubos de morteros a los 7 días de curado	97
6.1.2 Resistencia de cubos de morteros a los 14 días de curado	100
6.1.3 Resistencia de cubos de morteros a los 28 días de curado	102

6.2 Resultados de resistencia a la compresión de cubos de mortero con sustitución del 10 % de residuo óseo.....	104
6.2.1 Resistencia de cubos de morteros a los 7 días de curado	105
6.2.2 Resistencia de cubos de morteros a los 14 días de curado	107
6.2.3 Resistencia de cubos de morteros a los 28 días de curado	109
6.3 Resultados de resistencia a la compresión de cubos de mortero con sustitución del 15 % de residuo óseo.....	111
6.3.1 Resistencia de cubos de morteros a los 7 días de curado	112
6.3.2 Resistencia de cubos de morteros a los 14 días de curado	114
6.3.3 Resistencia de cubos de morteros a los 28 días de curado	116
6.3.4 Grafica que representa los resultados de resistencia de cubos fallados a 7, 14 y 28 días de curado.....	118
6.3.5 Grafica que representa la saturación de los cubos antes de ser fallados a 7, 14 y 28 días de curado.....	121
6.4. Análisis estadístico.	125
6.4.1 Coeficiente de variación.	125
6.4.2 La desviación típica o desviación estándar.....	126
6.4.3 Media aritmética.	126
7. Conclusiones.....	130
8. Recomendaciones.	132
Referencias Bibliográficas	133

Anexos	136
Anexo A. Ensayos de la caracterización de los materiales	136
Granulometría.....	136
11.1.2 Densidad bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto (I.N.V.E 217)	139
11.1. 3 Humedad.....	140
11.1.4 Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico NTC 110 -2013	140
11.1.5 Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino (I.N.V.E 222) (en residuo óseo de res).....	142
11.1.6 Equivalente de arena de suelos y agregados finos (I.N.V.E 133)	144
Densidad del cemento hidráulico INV E-307-13	144
11.1.7 Finura Blaine (NTC 33).....	144
Tiempo de fraguado (Vicat) NTC 118	145
Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino (I.N.V.E 222) (en residuo óseo de res).	148
Anexo B. Ensayo SEM (ensayo barrio electrónico) realizado a la muestra de mortero.	150
□ Incorporación del hueso en la mezcla.....	150

Lista de Figuras

Figura 1. Mezcla de mortero.....	23
Figura 2. Arena	25
Figura 3. Cemento.....	26
Figura 4. Grafica de resistencia a la compresión de morteros Vs. A/C.	39
Figura 5. Grafica para definir el contenido de cemento.....	40
Figura 6. Clasificación de morteros para saber la resistencia y la fluidez según el tipo de mortero	44
Figura 7. Selección del hueso	46
Figura 8. Sección transversal y longitudinal del hueso.....	47
Figura 9. Hueso trabecular.....	48
Figura 10. Hueso compacto	48
Figura 11. Sección de un hueso largo.	49
Figura 12. Huesos que no presentan degradación.....	51
Figura 13. Huesos degradados presentan proceso de hidrolisis.....	51
Figura 14. Máquina de los ángeles	53
Figura 15. Diagrama de caja.	57
Figura 16. Ensayo preliminar de mortero convencional con 140 ml de agua.....	62
Figura 17. Sustitución de agregado fino por el 15% de hueso de res 140 ml de agua.....	63
Figura 18. Sustitución de agregado fino por el 50% de hueso de res 190 ml de agua.....	64
Figura 19. Sustitución de agregado fino por el 15% de hueso de res con 120 ml de agua.....	65

Figura 20. Ensayo preliminar de mortero con sustitución de agregado grueso por el 50% de hueso de res 120 ml de agua.	66
Figura 21. Proceso de Secado del Hueso.....	69
Figura 22. Tamizado del Hueso.....	70
Figura 23. Trituración del hueso óseo en la máquina de los ángeles.....	71
Figura 24. Cemento hidráulico CEMEX.....	73
Figura 25. Densidad del cemento hidráulico.....	73
Figura 26. Tiempo de fraguado.....	74
Figura 27. Finura de Blaine.....	75
Figura 28. Consistencia normal.....	76
Figura 29. Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino.....	77
Figura 30. Equivalente de arena suelos y agregado fino.....	79
Figura 31. Densidad relativa de los agregados finos.....	80
Figura 32. Densidad de Bulk.....	81
Figura 33. Contenido de agua en agregado fino (Humedad).....	82
Figura 34. Materia orgánica en arenas.....	83
Figura 35. Contenido de agua del residuo óseo (humedad).....	84
Figura 36. Densidad relativa del residuo óseo.....	85
Figura 37. Granulometría del hueso de res.....	87
Figura 38. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico.....	89
Figura 39. Determinación de la fluidez de morteros de cemento hidráulico.....	90
Figura 40. Imagen manométrica SEM mortero de control.....	150
Figura 41. Espectro de rayos x, mortero convencional.....	151

Figura 42. Espectro de rayos x, mortero convencional.....	151
Figura 43. Imagen manométrica SEM interacción material cementicia.....	152
Figura 44. Imagen microscópica del hueso óseo	152
Figura 45. Espectro de rayos x con agregado de hueso de res.....	153
Figura 46. Espectro de rayos x, mortero con agregado de hueso de res	153

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Fluidez recomendada para mortero.....	36
Tabla 2. Resistencia según el tipo de mortero.	37
Tabla 3. Diseño de mezclas de mortero por metro cubico (m ³).....	61
Tabla 4. Diseño de mezclas de morteros con y sin sustitución de residuo óseo para 18 cubos con el 15 % de desperdicio.	61
Tabla 5. Datos preliminares de mortero convencional con 140 ml de agua.	62
Tabla 6. Sustitución de agregado fino por el 15% de hueso de res con 140 ml de agua.	63
Tabla 7. Sustitución de agregado fino por el 50% de hueso de res con 190 ml de agua.	65
Tabla 8. Sustitución de agregado fino por el 15% de hueso de res con 120 ml de agua.	66
Tabla 9. Sustitución de agregado grueso por el 50% de hueso de res 120 ml de agua.....	67
Tabla 10. Tablas de resumen de las cargas de los morteros de los ensayos preliminares.	68
Tabla 11. Absorción del material de residuo óseo de res.	86
Tabla 12. Calculo de cantidades originales.....	91
Tabla 13. Cantidades totales para 216 cubos de morteros con agregado de hueso de res con e l 15% y 10%, y morteros convencionales.	92
Tabla 15. Cantidades del 10% de sustitución de agregado fino por residuo óseo	93
Tabla 16. Resistencia de cubos de morteros a los 7 días de curado.....	98
Tabla 17. Resistencia de cubos de morteros a los 14 días de curado.....	100

Tabla 18. Resistencia de cubos de morteros a los 28 días de curado.....	102
Tabla 19. Resistencia de cubos de morteros a los 7 días de curado.....	105
Tabla 20. Resistencia de cubos de morteros a los 14 días de curado.....	107
Tabla 21. Resistencia de cubos de morteros a los 28 días de curado.....	109
Tabla 22. Resistencia de cubos de morteros a los 7 días de curado.....	112
Tabla 23. Resistencia de cubos de morteros a los 14 días de curado.....	114
Tabla 24. Resistencia de cubos de morteros a los 28 días de curado.....	116
Tabla 25. Promedio resistencia de las mezclas de mortero fallados a los 7 días de curado	121
Tabla 26. Promedio resistencia de las mezclas de mortero fallados a los 14 días de curado	122
Tabla 27 Promedio resistencia de las mezclas de mortero fallados a los 7 días de curado	123
Tabla 28. Valores estadísticos a morteros fallados a los 28 días	125
Tabla 29. Valores estadísticos a morteros fallados a los 28 días	126
Tabla 30. Valores estadísticos a morteros fallados a los 28 días.	127
Tabla 31. Primer ensayo de granulometría	136
Tabla 32. Segundo ensayo de granulometría	137
Tabla 33. Densidad de bulk	139
Tabla 34. Consistencia normal.....	140
Tabla 35. Penetración vs porcentaje del cemento.	141

Lista de Graficas

grafica 1. Primer ensayo de análisis granulométrico de los agregados grueso y fino	78
grafica 2. Segundo ensayo de análisis granulométrico de los agregados grueso y fino	78
grafica 3. Esfuerzos vs morteros convencionales fallados.....	103
grafica 4 Esfuerzos vs morteros con el 10% de residuo óseo fallados	110
grafica 5. Esfuerzos vs morteros con el 15% de residuo óseo fallados.	117
grafica 6. Resultados de las mezclas de mortero fallados a 7 días de curado.	118
grafica 7. Resultados de las mezclas de mortero fallados a 14 días de curado.	119
grafica 8. Resultados de las mezclas de mortero fallados a 28 días de curado.	120
grafica 9. Resultados promedio ensayos a compresión - 7 días.....	122
grafica 10. Resultados promedio ensayos a compresión - 14 días.....	123
grafica 11. Resultados promedio ensayos a compresión - 28 días.....	124
grafica 12. Diagrama de caja convencional	127
grafica 13. Diagrama de caja del 10 % de material óseo	128
grafica 14. Diagrama de caja 15% de material óseo.....	129
grafica 15. Primer ensayo de granulometría	137
grafica 16. Segundo ensayo de granulometría	138

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo A. Ensayos de la caracterización de los materiales	136
Anexo B. Ensayo SEM (ensayo barrio electrónico) realizado a la muestra de mortero.....	150

10/12/2019

www.upbbga.edu.co/biblioteca/formaton.php

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO A COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CONTROL CONVENCIONAL Y MORTEROS CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR RESIDUO ÓSEO SECO DE RES.

AUTOR(ES): Miguel Julián Cadena Meneses
Slendy Tatiana Puentes Hernández

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Ludwing Pérez Bustos

RESUMEN

Actualmente en la industria de la construcción se genera una cantidad notable de residuos, que ocasiona un impacto ambiental negativo; estos residuos son generados para suplir las necesidades técnicas en la construcción. Debido al impacto ocasionado, se busca remplazar e innovar en nuevos materiales para la construcción, con el fin de ahorrar materias primas, por esta razón se implementó los residuos óseos de res; ya que es un material fácil de adquirir a bajo costo, para la realización de una mezcla de mortero alternativo. Por ende, se procedió hacer ensayos preliminares en el laboratorio, adicionándole el hueso de res a los diseños de mezclas de mortero, con el fin de comparar la resistencia entre un mortero convencional y un mortero con porcentaje de hueso de res. En primer lugar, para el análisis del comportamiento mecánico de mortero con agregado de hueso de res, inicialmente se seleccionó adecuadamente el material a trabajar, exponiéndolo térmicamente mediante el sol, una vez obtenido el hueso seleccionado se trabajó en la caracterización mediante ensayos de laboratorio de dicho material, así como los componentes que definen el mortero (arena, agua y cemento). Después de haberse caracterizado los materiales, se procedió hacer el diseño de mezclas con diferentes porcentajes de hueso de res para los cubos de morteros. Luego se fallaron los cubos de morteros a los 7, 14 y 28 días. Gracias a los resultados obtenidos, se escogieron las cantidades de porcentajes del 15% y 10% de residuo óseo; tomados del tamiz pasa n° 4 retenido $\frac{3}{4}$ considerando la arena más gruesa entre 2 y 5 mm. Se determinó que los morteros a base de hueso de res reducen el peso ligeramente comparados con el mortero convencional analizado.

PALABRAS CLAVE:

Mortero, conglomerantes, resistencia, hueso óseo, material orgánico, ligereza, manejabilidad, durabilidad.

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

10/12/2019

www.upbbga.edu.co/biblioteca/formatoi.php**GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

TITLE: MECHANICAL PERFORMANCE EVALUATION OF A MORTAR COMPRESSION CONVENTIONAL CONTROL AND MORTAR WITH FINE AGGREGATE REPLACEMENT FOR BONE DRY RESIDUE RES.

AUTHOR(S): Miguel Julián Cadena Meneses
Slendy Tatiana Puentes Hernández

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Ludwing Pérez Bustos

ABSTRACT

Currently, a significant amount of waste is generated in the construction industry, which causes a negative environmental impact; these wastes are generated to meet the technical needs in construction. Due to the impact caused, it is sought to replace and innovate in new construction materials, in order to save raw materials, for this reason beef bone waste was implemented; because it is an easy material to acquire at low cost, for the realization of an alternative mortar mixture. Therefore, preliminary tests were carried out in the laboratory, adding the beef bone to the mortar mix designs, in order to compare the resistance between a conventional mortar and a mortar with percentage of beef bone. In the first place, for the analysis of the mechanical behavior of mortar with aggregate of beef bone, the material to work was initially properly selected, exposing it thermally to the sun for a considerable time, once obtained the selected bone, it was worked on the characterization by means of laboratory tests of said material, as well as the components that define the mortar (sand, water and cement). After having characterized the materials, we proceeded to design mixtures with different percentages of beef bone for the mortar cubes. Then the mortar cubes were failed at 7, 14 and 28 days. Thanks to the results obtained, the amounts of percentages of 15% and 10% of bone residue were chosen; taken from the sieve passes n ° 4 retained $\frac{3}{4}$ considering the thickest sand between 2 and 5 mm. It was determined that beef bone-based mortars reduce the weight slightly compared to the conventional mortar analyzed

KEYWORDS:

Mortar, binders, strength, bone bone, organic material, lightness, durability, manageability.

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

Introducción.

En el presente trabajo de grado se muestra una alternativa de sustentabilidad, a través de la incorporación en la industria de la construcción de residuo óseo de res, considerando que actualmente se busca la implementación de nuevas materias primas que generen una reducción en los niveles de contaminación que causa la expansión de nuestras ciudades. En gran parte de los proyectos de construcción se emplea el uso de mezclas de mortero, las cuales son utilizadas en obras civiles con múltiples aplicaciones, para la elaboración de una mezcla de mortero se necesita materia prima como agua, cemento y agregado fino que generalmente es arena, aunque actualmente se está incorporando en las mezclas materiales alternativos como aserrín, caucho de llantas, icopor entre otros tipos de materiales. En este proyecto se busca incorporar residuo óseo de res secado térmicamente a través de la exposición al sol en la mezcla de mortero, realizando previamente pruebas de laboratorio para conocer las propiedades de dicho material y así ofrecer su mejor aplicabilidad. Esta materia prima fácil de adquirir y a la cual no se le conoce una aplicación en la industria de la construcción definida, se desea ser utilizada como un sustituto de agregado fino es decir arena en proporciones considerables de 10% y 15% de contenido de residuo óseo de res. Para lo cual se realizará el respectivo diseño de mezcla de mortero y posteriormente el ensayo de determinación de la resistencia a compresión de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50mm de lado (NTC 220), de esta manera realizar un análisis estadístico descriptivo que permita acercarnos a la implementación óptima del material orgánico.

1. Título

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICA COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CONTROL CONVENCIONAL Y MORTEROS CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR RESIDUO OSEO SECO DE RES.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

- Evaluar el comportamiento mecánico de morteros con sustitución del 10% y el 15% de arena por hueso de res.

2.2 Objetivo Especifico

- Seleccionar y tratar térmicamente mediante exposición solar el material óseo como sustituto de agregado fino para la evaluación de morteros.
- Caracterizar el material óseo sustituto del agregado fino
- Diseñar mezclas de morteros con material óseo.
- Realizar ensayos de resistencia a la compresión.

3. Marco Teórico

3.1 Mortero.

El agregado fino en el mortero posee ciertas propiedades mecánicas que favorecen la composición del mortero. Este agregado puede ser sustituido por materiales orgánicos como es el hueso de res, ya que posee unas buenas propiedades mecánicas las cuales pueden ser aprovechadas en las mezclas de morteros. (mancha, 2018)



Figura 1. Mezcla de mortero

Fuente: propia

La figura 1 muestra el proceso de mezclado de un mortero tipo M de resistencia 17.5 MPa

Por esta razón buscamos un mortero que no afecte el medio ambiente sin dejar de ser funcional y óptimo; es la prioridad en la innovación de materiales de construcción alternativos, considerando que se deberían buscar materia primas alternativas a las tradicionales.

Por otro lado, la demanda de hueso de res es considerablemente alta en nuestro país puesto que la principal reutilización que se le podía dar estaba dirigida hacia los concentrados para

animales, pero actualmente ya no se usa para este fin, la principal aplicación de los huesos es para la fabricación de, gelatina, cola, grasas de huesos, harina de hueso y carbón entre otros materiales se calcula que solo se aprovecha un 20% del material.

El hueso de res es una materia prima muy accesible y económico, bastaría con secarlo adecuadamente y posteriormente triturarlo teniendo en cuenta los respectivos diseños de mortero basados siempre en la norma sismo resistente del 2010 (NSR-10) de Colombia.

3.2 Componentes de morteros.

3.2.1 Agua

El agua se utiliza para las mezclas de mortero; la cual al combinarse con el cemento hace que la mezcla sea más fluida, más manejable dependiendo de la cantidad de agua que se le adicione. Para la ejecución de este proceso, el agua deberá estar libre de impurezas. El agua es muy importante tanto para el proceso de amasado como para el proceso de curado; pero se debe tener en cuenta los siguientes puntos.

3.2.2 Agua de amasado.

- Advierte en las modificaciones de hidratación del cemento
- Concede al hormigón la trabajabilidad para su puesta en obra

- La cantidad de agua de amasado debe ser limitada es decir la necesaria.
- El agua en exceso se evapora y crea una serie de huecos en el hormigón, reduciendo su resistencia.
- Un pérdida de agua de amasado origina masas pocos trabajables y de difícil distribución en obra. (mancha, 2018)

3.2.3 Agua de curado.

- En el proceso de fraguado y endurecimiento del hormigón, tiene por esencia:
- Impedir la desecación
- Optimizar la hidratación del cemento
- Frenar una retracción precoz. (mancha, 2018)

3.2.4 Arena

Las excelentes arenas son las de río. Por lo que sus partículas deben estar limpias y compactadas. (Umacon S.A., 2017)



Figura 2. Arena

Fuente: propia

La figura 2 muestra el proceso de pesaje de la arena que se implementó para este proyecto

3.2.5 Cemento

Material de construcción que es mezclada con agua, forma una pasta blanda que se endurece en contacto con el agua o el aire; se emplea para tapar o rellenar huecos, también para mampostería estructural y como componente aglutinante en bloques de hormigón y en argamasas. (Umacon S.A., 2017)

Cemento portland está combinado de una mezcla de roca de caliza y arcilla, que fragua muy lento y es demasiado resistente; al desecar adquiere un color parecido al de la piedra de las canteras de Portland. (Umacon S.A., 2017)



Figura 3. Cemento

Fuente: propia

La figura 3 muestra el cemento que se trabajó en este proyecto, así como su marca (CEMEX)

3.2.6 Aditivos

Los Innovadores de fraguado y endurecimiento son productos que se le adicionan a los morteros en el momento de que se está realizando la mezcla; pues esto productos impiden, retrasan o apresuran el fraguado o operan sobre su endurecimiento. A estos productos se les conoce como inhibidores de fraguado, retardadores y acelerantes, respectivamente. (mancha, 2018)

- **Inhibidores**

Los inhibidores sirven para frenar el proceso de fraguado del cemento.

- **Retardadores**

Los retardadores sirven para la hidratación del cemento con relación a su velocidad.
(mancha, 2018)

Si este se utiliza en porciones incorrectas pueden inhabilitar el fraguado y endurecimiento de los morteros. (mancha, 2018)

- **Acelerantes**

El emplear un acelerador consiente que el hormigón obtenga la resistencia necesaria.
(mancha, 2018)

3.3 Clasificación de los Mortero.

Existen varios tipos de morteros, en este caso hablaremos de tres tipos de morteros; los cuales están clasificados los morteros según su tipo de resistencia a la compresión en mortero tipo M, mortero tipo S, y mortero tipo N. (Lopez, 1983)

- **Mortero Tipo M**

Estos morteros tienen alta resistencia y brindan más durabilidad en comparación a otros morteros. El mortero tipo M sirven para mampostería reforzada o sin refuerzo, estos morteros están sometidos a grandes cargas a compresión, cargas laterales de tierra viento fuertes y temblores. Es importante saber que estos morteros se deben usar en estructuras en contacto con el suelo, como, por ejemplo: las cimentaciones, muros de contención, aceras, tuberías de aguas negras, pozos, entre otros. (Lopez, 1983)

- **Mortero Tipo S**

Mortero que logra mayor característica de adherencia, es decir que sirve para mortero de pega. Este mortero se usa especialmente en estructuras sometidas a cargas de compresión medias. Por ende, se usa en aquellos casos donde el mortero es el único agente de adherencia con la pared. Como por ejemplo en revestimientos cerámicos, baldosines de barro cocido, etc. (Lopez, 1983)

- **Mortero Tipo N**

Este mortero es empleado para uso general, ya que es manejado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo. Este mortero se emplea especialmente para enchapes de mampostería, paredes divisoras o internas. El mortero tipo N tienen buena resistencia, trabajabilidad y economía. (Lopez, 1983)

3.4 Usos de los Morteros.

Los morteros tienen funciones estructurales, estos se pueden usar en la construcción de elementos estructurales, o en la mampostería estructural pueden ser utilizados como de pega, de relleno o de recubrimiento. (Lopez, 1983)

- **Mortero de pega:**

Estos morteros tienen características especiales, en comparación a otros morteros usados para otros fines, estos se debe a que están sujetos a las condiciones del sistema constructivo, y a la vez deben tener una resistencia adecuada ya que debe soportar esfuerzos de tensión y compresión. (Lopez, 1983)

- **Morteros de relleno:**

Estos morteros se utilizan para llenar los cuartos de los elementos en la mampostería estructural, este debe tener una buena o conveniente resistencia. (Lopez, 1983)

- **Morteros de recubrimiento:**

Los morteros de rellenos no tienen como finalidad ser utilizados de forma estructural, sino de embellecimiento, o la de suministrar una superficie uniforme para utilizar la pintura, no demanda una resistencia determinada; la plasticidad es muy trascendental a la hora de utilizar mortero de recubrimiento. (Lopez, 1983)

3.5 Propiedades de los morteros.

Los morteros están clasificados en estado plástico y en estado endurecido, los cuales tienen diferentes propiedades. (Lopez, 1983)

3.5.1 En estado plástico

- **Manejabilidad:**

La manejabilidad de una mezcla se relaciona con la consistencia, si esta es muy blanda o muy seca; pero principalmente depende de las cantidades del cemento, de la textura y el módulo de finura de la arena. Esta se puede medir por medio del ensayo de fluidez (NTC111). (Lopez, 1983)

- **Retención de agua:**

Es la capacidad que tiene un mortero de conservar su plasticidad, Para optimizar la retención de agua se puede agregar hueso de res, o agregar más cantidad de arena, otra manera de optimizar la retracción es agregándole aditivos plastificantes o incorporadores

de aire. Este proceso interviene en la velocidad de endurecimiento y en la resistencia final, puesto que un mortero que no retenga el agua no permite la hidratación del cemento. (Lopez, 1983)

- **Velocidad de endurecimiento:**

La velocidad de endurecimiento depende principalmente de la composición de la mezcla, las condiciones ambientales en las que se encuentra (clima y humedad); puesto que los tiempos de fraguado se encuentran entre 2 y 24 horas. (Lopez, 1983)

3.5.2 En estado endurecido

- **Retracción:**

La retracción hace presencia cuando los morteros tiene grandes cantidades de cemento. Por esta razón se recomienda utilizar arenas con textura rugosas para mejorar la retracción y así evitar los agrietamientos. (Lopez, 1983).

- **Adherencia:**

La adherencia tiene la capacidad de absorber, tensiones normales y tangenciales a la superficie que pone en contacto el mortero y una estructura, es decir a la capacidad de responder ante solicitudes de carga. (Lopez, 1983)

- **Resistencia:**

La resistencia depende de varios factores, en primer lugar, de la cantidad de cemento que se le proporcione a una mezcla de mortero; por consiguiente, también depende de su densidad, es decir que su volumen contenga mayor porcentaje de materiales sólidos; otro de estos factores es el tamaño de los granos de arena, ya que un mortero con arena fina será menos denso que un mortero con arena gruesa y por último uno de los factores importantes es la cantidad de agua que se le proporcione en el diseño de un mortero puesto que si es más seco dan mayor resistencia que los morteros húmedos; ya que estos pueden ser más densamente compactados. (Lopez, 1983)

- **Durabilidad:**

La durabilidad depende principalmente de los agentes externos; tales como la infiltración del agua, temperaturas bajas, desgaste por abrasión y agentes corrosivos. Es decir que los morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad. (Lopez, 1983)

3.6 Características de los materiales

Las características de los materiales deben medirse con ensayos de laboratorio sobre muestras representativas del material a utilizar en la obra. Se sugiere seguir las normas NTC e INVE en la realización de las pruebas. Las propiedades que deben determinarse son:

3.6.1 Cemento

- Densidad del cemento hidráulico INV E-307-13
- Tiempo de fraguado (Vicat) NTC 118
- Finura Blaine (NTC 33)
- Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico NTC 110 -2013

3.6.2 Agua

- Densidad (G_a), se puede asumir $G_a = 1,00 \text{ kg/dm}^3$.

3.6.3 Agregado Fino

- Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino (I.N.V.E 213)
- Equivalente de arena de suelos y agregados finos (I.N.V.E 133)
- Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino (I.N.V.E 222)
- Densidad bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto (I.N.V.E 217)
- Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado I.N.V. E – 122
- Contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en preparación de morteros o concretos I.N.V. E – 212 – 07

3.7 Pasos a seguir para la dosificación deseada.

Para obtener las proporciones de la mezcla del mortero que cumpla las características deseadas, con los materiales disponibles se prepara una primera mezcla de prueba teniendo como base unas proporciones iniciales que se determinan siguiendo el orden que a continuación se indica: (Humberto & Arango T, 1997)

- Selección de la fluidez
- Determinación de la resistencia de dosificación
- Selección de la relación agua/cemento
- Estimación del contenido de cemento
- Cálculo de la cantidad de agua
- Cálculo del contenido de agregado
- Cálculo de las proporciones iniciales
- Primera mezcla de prueba. Ajuste por humedad del agregado
- Ajustes a las mezclas de prueba

Se hace dos mezclas con la dosificación establecida, la primera mezcla es para el mortero normal y la segunda es el mortero con agregado de hueso de res; para hacer una comparación de fluidez, resistencia y aligeramiento; entre estas dos mezclas.

3.7.1 Selección de la fluidez

La fluidez requerida por el mortero se escogerá de acuerdo con las especificaciones de la obra; en su defecto se tomará el % de Fluidez debe determinarse de acuerdo con la norma NTC 111.

(Humberto & Arango T, 1997)

Tabla 1. Fluidez recomendada para mortero.

<i>% Fluidez (mesa de Flujo)</i>	<i>Consistencia</i>	<i>Tipo de Estructura</i>	<i>Condiciones de Colocación</i>	<i>Sistema de colocación</i>
80-100	<i>Dura (seca)</i>	<i>Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos</i>	<i>Secciones sujetas a vibración.</i>	<i>Proyección neumática, con vibradores de formaleta.</i>
100-120	<i>Media (plástica)</i>	<i>Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos</i>	<i>Sin vibración.</i>	<i>Manual con palas-Palustres</i>
120-150	<i>Fluida (húmeda)</i>	<i>Rellenos de mampostería estructural, morteros Autonivelantes Para pisos.</i>	<i>Sin vibración.</i>	<i>Manual, bombeo, inyección.</i>

Fuente: capítulo 9 (Sanchez de Guzan , 1987)

La tabla 1 muestra la fluidez recomendada según el diseño de mezcla que se trabajó (morteros tipo M), para tal caso se estimó una masa de flujo de (100-120)

3.8 Determinación de la resistencia de dosificación.

El mortero debe dosificarse y producirse para asegurar una resistencia promedio lo suficientemente alta, minimizando la frecuencia de resultados de pruebas de resistencia por debajo de la resistencia tomada para diseño. La NSR/10 “Norma Colombiana de diseño y construcción sismo resistente” clasifica los morteros como mortero tipo M con una resistencia de 17,5 MPa, mortero tipo S con una resistencia de 12,5 MPa, y mortero tipo N con una resistencia de 7,5 MPa. La Resistencia a la compresión del mortero mínima a los 28 días, medida en cubos de 5 cm de arista (MPa okg/cm²), también se debe tener en cuenta para la dosificación del mortero, tener un factor de corrección del 1,35 basándonos en la norma NTC 220 (MPa) (INCONTEC, 1989)

Como se mencionó anteriormente los tipos de mortero con su resistencia adecuada, se ordenó esta información como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Resistencia según el tipo de mortero.

Mortero tipo	R'm (MPa)
<i>M</i>	17,5
<i>S</i>	12,5
<i>N</i>	7,5

Fuente: capítulo 9 (Sanchez de Guzan , 1987)

Después de elegirse el tipo de mortero (mortero tipo M) y saber la resistencia (17,5 MPa) con la que se va trabajar; se aplica esta (Ecuación 1), que es para tener un factor de corrección como mencionábamos anteriormente:

$$R'_{mm} = 1,35 * R'm$$

- ✓ R'm = Resistencia a la compresión del mortero mínima a los 28 días.
- ✓ R'mm = Resistencia a la compresión del mortero, de dosificación, a los 28 días.

Ecuación 1. *Resistencia a la compresión de morteros.*

Fuente: (Sanchez de Guzan , 1987)

3.8.1 Selección de la relación agua/cemento.

La relación agua/cemento (A/C) requerida se debe determinar no sólo por los requisitos de resistencia, sino también por factores de durabilidad, retracción, etc. Puesto que diferente cemento, agua y agregado producen generalmente resistencias diferentes con la misma A/C, es muy conveniente encontrar la relación entre la resistencia y la A/C para los materiales que se usan en la dosificación de mezclas ; teniendo en cuenta que entre más grueso sea el agregado fino (mayor módulo de finura). (GALLEGOH.H & URIEL., 1986).

La ecuación para las arenas finas es:

$$R_c \text{ morteros } 28d = \frac{851,12}{19,86^{\frac{A}{c}}}$$

- ✓ $R_{cMortero28d}$: Resistencia a la compresión del mortero a los 28 días en kg/cm^2 .
- ✓ A/C : Relación Agua – Cemento en masa.

Ecuación 2. Relación agua- cemento

Fuente: (Sanchez de Guzan , 1987)

Existen dos maneras de hallar la relación agua-cemento; empleando la ecuación 2 y la segunda es por la ilustración que se muestra en la figura #. Grafica de resistencia a la compresión del Mortero Vs. A / C

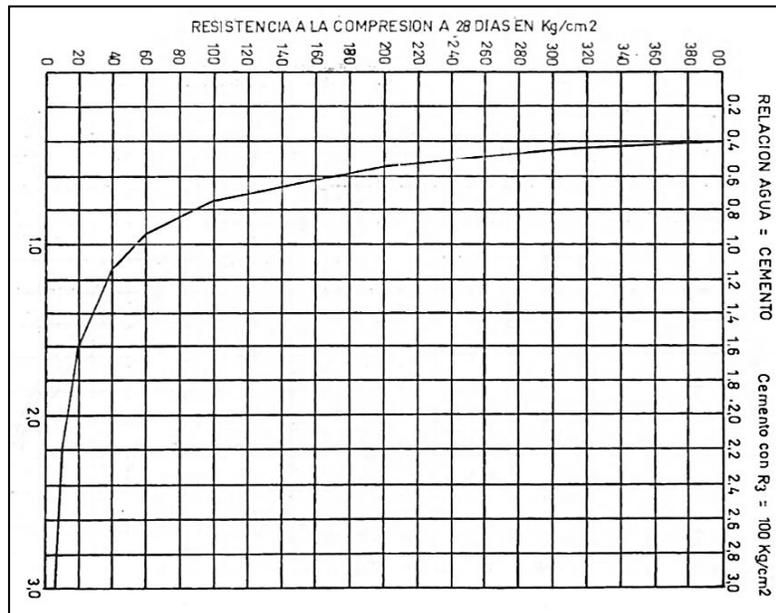


Figura 4. Grafica de resistencia a la compresión de morteros Vs. A/C.

Fuente: capítulo 9 (Sanchez de Guzan , 1987)

3.8.2 La Estimación del contenido de cemento.

La cantidad de cemento en kg por m³ de mortero (C) para una primera mezcla de prueba se halla de la gráfica que se muestra en la figura 4 de resistencia a la compresión vs contenido de cemento, teniendo en cuenta el módulo de finura. (Sanchez de Guzan , 1987)

La cantidad del contenido de cemento se saca de la gráfica que se presenta en la figura 5. Resistencia a la compresión a 28 días en kg/cm² Vs. Módulo de finura

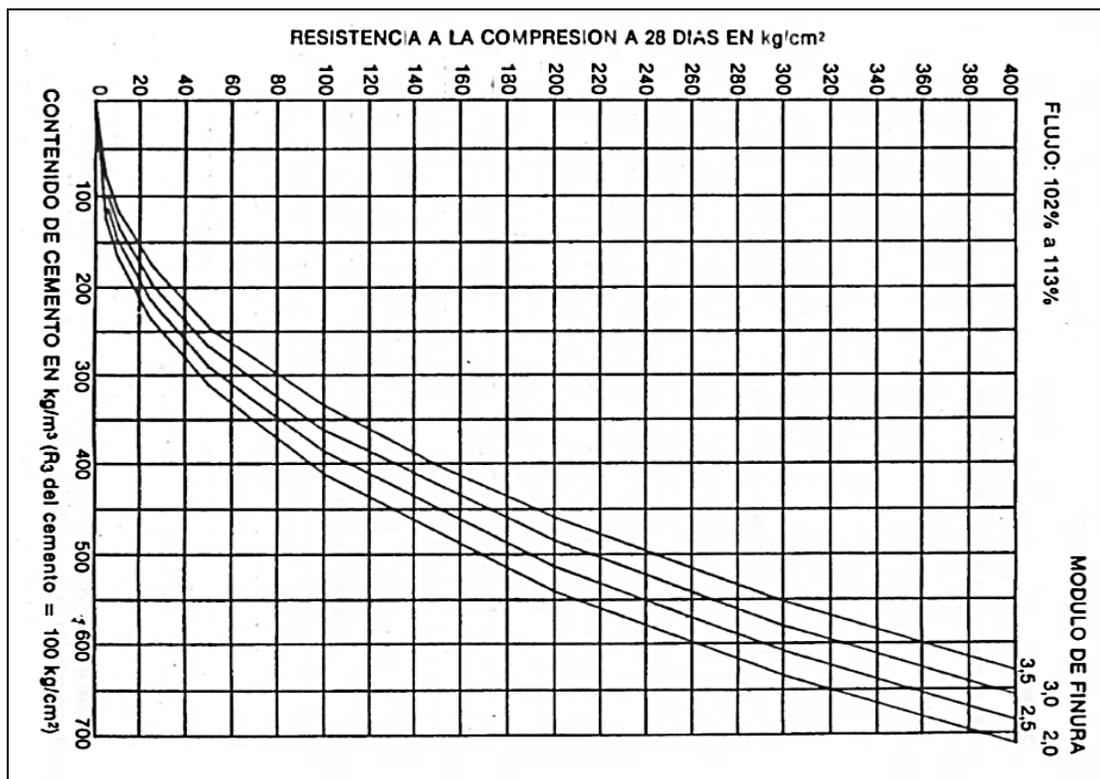


Figura 5. Grafica para definir el contenido de cemento.

Fuente: capítulo 9 (Sanchez de Guzan , 1987)

3.8.3 Cálculo de la cantidad de agua.

La Cantidad de agua (kg/m^3 de mortero) se halla multiplicando la cantidad de cemento por la relación agua/ cemento. Teniendo en cuenta que si se va a emplear aditivo se deben consultar las recomendaciones del fabricante, si es del caso reducir la cantidad de agua y cemento. El cual se adiciona a la mezcla como un porcentaje dependiendo de la cantidad de cemento. (FERNANDEZ.R., 1987).

$$A = C * A/C$$

Ecuación 3. Cantidad de agua

Fuente: (Sanchez de Guzan , 1987)

- ✓ A = Cantidad de agua (kg/m^3 de mortero)
- ✓ C= Cemento
- ✓ A/C= Relación agua-cemento

En algunos casos se les adiciona aditivo a los diseños de mezclas para acelerar el fraguado y curado de los cubos, la cantidad necesaria de adicto depende de cada diseño de mezclas; y se calcula según la ecuación 4:

$$Ad = C * \% \text{ escogido}$$

Ecuación 4. Cantidad de aditivo.

Fuente: (Sanchez de Guzan , 1987)

- ✓ Ad= Cantidad de aditivo.
- ✓ C= cemento
- ✓ %= un factor (numero) que viene especificado según el producto

3.8.4 Cálculo del contenido de agregado

El cálculo del contenido de agua se halla teniendo en cuenta el volumen del cemento (cm³), el volumen del agua (cm³) y el volumen del aire. Por consiguiente, primero se debe hallar el volumen de agregado, de la siguiente manera, se le resta a 1000 cm³, el volumen del cemento, el volumen del agua y del aire; y si se le adiciona aditivo también se le debe restar el volumen de aditivo. Una vez ya hallado el volumen del agregado, se procede hallar el contenido del material, sabiendo que el volumen es igual a la masa del material dividida en la densidad del material, esta se despeja y tenemos como resultado la cantidad de agregado. (Sanchez de Guzan , 1987).

$$V. arena = 1 - (V. agua + V. cemento + v. aire)$$

Ecuación 5. Volumen de agregado.

Fuente: (Sanchez de Guzan , 1987)

$$C. arena = V. arena * \rho. arena$$

Ecuación 6. Cantidad de arena.

Fuente: (Sanchez de Guzan , 1987)

3.8.5 Cálculo de las proporciones iniciales

El método más práctico para expresar las proporciones de un mortero es indicarlo en forma de relación por masa de agua, cemento y agregado tomando como unidad el cemento. (Sanchez de Guzan , 1987)

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

Ecuación 7. Cantidad de agua.

Fuente: (Sanchez de Guzan , 1987)

3.8.6 Primera mezcla de prueba. Ajuste por humedad del agregado.

Las proporciones iniciales calculadas deben verificarse por medio de ensayos de fluidez y resistencia hechos a mezclas de prueba elaboradas en el laboratorio, teniendo en cuenta la humedad del agregado. Cuando no se cumple con la fluidez y la resistencia requerida se debe hacer los ajustes a la mezcla de prueba. (Sanchez de Guzan , 1987).

3.9 Ajustes a la mezcla de prueba.

3.9.1 Ajuste por fluidez

Al preparar la primera mezcla de prueba deberá utilizarse la cantidad de agua necesaria para producir la fluidez requerida. Si esta cantidad está entre 115-125, el diseño que se realizó para mortero tipo M fue exitoso. Si la cantidad difiere y la fluidez no está entre el rango de 115-125;

es necesario, recalculer los contenidos ajustados de cemento y agregado, y las proporciones ajustadas, para que la fluidez no presenta mayor cambio al variar un poco los volúmenes absolutos de cemento y agregado fino. (Sanchez de Guzan , 1987).

Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción								
Mortero tipo	Especificación de los morteros por propiedad ⁽¹⁾			Especificación de los morteros por proporción				
	Resistencia mínima a la Compresión f'_{cp} MPa ⁽²⁾	Flujo en (%) ⁽³⁾	Retención Mínima de Agua	Cemento Portland	Cal hidratada ⁽⁴⁾	Cemento para Mampostería ⁽⁷⁾	Arena/Material Cementante ⁽⁵⁾	
							Min.	Máx.
H	22.5	115-125	75%	1	0.25	no aplica	2.00	2.5
M	17.5	115-125	75%	1	0.25	no aplica	2.25	3.0
				1	no aplica	1	2.25	2.5
S	12.5	110-120	75%	1	0.25 a 0.50	no aplica	2.50	3.5
				0.5	no aplica	1	2.50	3.0
N ⁽⁶⁾	7.5	105-115	75%	1	0.50 a 1.25	no aplica	3.00	4.5
				0	no aplica	1	3.00	4.0

Notas:

- Solo para el diseño de mezclas de morteros en laboratorio, con base en los materiales que van a ser utilizados en obra. El control de morteros en obra se debe realizar de acuerdo con la norma NTC 3546 (ASTM C780).
- Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días en cubos de 50 mm de lado
- Ensayo realizado según NTC 4050 (ASTM C91)
- Se puede utilizar cal hidratada en polvo tipo N o S.
- Para este cálculo no se incluye como cementante la cal.
- El mortero tipo N solo se permite en sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (*DM*)
- El tipo de cemento para mampostería (M, S o N) será el mismo que el tipo de mortero de pega.

Figura 6. Clasificación de morteros para saber la resistencia y la fluidez según el tipo de mortero

Fuente: NSR-10. Tabla D 3.4-1

En la figura 6 se muestra la clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción.

3.9.2 Ajuste por resistencia

Se prepara una segunda mezcla de prueba con las proporciones ajustadas, que debe cumplir con la fluidez y se elaboran muestras para el ensayo de resistencia. Si las resistencias obtenidas difieren de la resistencia de dosificación, se reajustan los contenidos de cemento y agregado, determinando las proporciones ajustadas, dejando constante la cantidad de agua por volumen unitario de mortero, para mantener la fluidez. (Sanchez de Guzan , 1987).

3.10 Material óseo

3.10.1 Selección de hueso con materia de remplazo.

Realmente la idea de utilizar material óseo como sustituto del agregado fino, surgió debido a la problemática que tienen plantas de sacrificio animal más específicamente de res; puesto que no se sabía qué hacer con este material. Por ende, se empezó a utilizar material óseo para la fabricación de cola, gelatina, grasas de huesos, carbón y harina de hueso, este solo genera muy poco aprovechamiento total del material. Gracias a todas las investigaciones que se hicieron decidimos adicionar el material como sustituto del agregado fino, puesto que este material se demora mucho tiempo en descomponerse; para esto hicimos unos ensayos preliminares, para saber si la resistencia del mortero con material óseo era la misma o mayor que la de los morteros convencionales. A partir de esos ensayos nos dimos cuenta que era viable hacer esta investigación acerca de este material como sustituto del agregado fino; con el conocimiento de tener resultados positivos, ya que no solo cumplió con la resistencia, además nos pudimos dar cuenta que el mortero con hueso de res era más liviano en comparación con los morteros convencionales. También los ensayos preliminares fueron de gran ayuda para poder determinar el porcentaje de hueso que se iba adicionar al nuevo mortero, puesto que diferentes porcentajes daban diferentes resistencias.



Figura 7. Selección del hueso

Fuente: propia

La figura 7 muestra algunos residuos óseos de res que se utilizaron para ser trabajados en este proyecto.

3.10.2 Propiedades del material óseo

El material óseo está compuesto por células calcificadas que forman la matriz ósea. Se caracteriza por su rigidez y su gran resistencia a la atracción, compresión y a las lesiones. Esto se debe a la morfología del hueso, ya que este es un material rígido y ligero al mismo tiempo. Su rigidez la confiere la capa exterior, formada de material compacto, mientras que en el interior adopta una forma esponjosa que le permite minimizar el peso. (Esther Rincon, 2004)

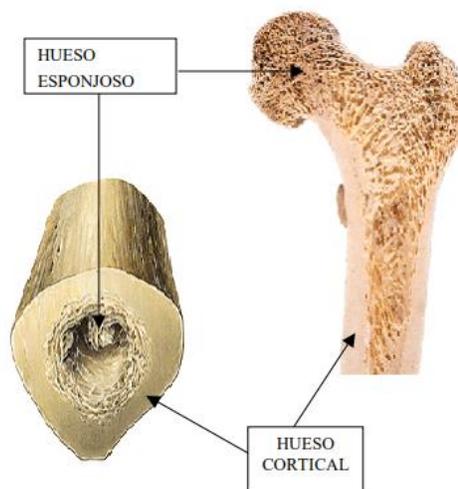


Figura 8. Sección transversal y longitudinal del hueso

Fuente: (Esther Rincon, 2004)

En la figura 8 se puede apreciar el material compacto es decir la zona cortical y en la zona interior se encuentra el material esponjoso del hueso, la cual está formada de láminas o trabéculas; esta figura muestra dos cortes uno longitudinal y el otro transversal.

- **Hueso esponjoso o trabecular**

El hueso esponjoso posee grandes espacios denominados cavidades vasculares; estas cavidades están delimitadas por trabéculas óseas en las cuales las fibras de colágeno pueden estar dispuestas de manera entrecruzada o bien ordenadas en laminillas ósea. (salud, 2019)

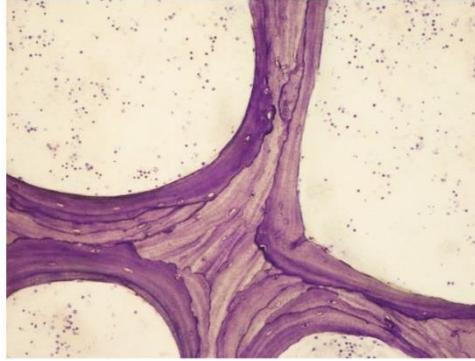


Figura 9. Hueso trabecular

Fuente: (salud, 2019)

En la figura 9 muestran el hueso trabecular con una técnica denominada teñido con azul de toluidina; la cual consisten en un colorante que se usa para tinciones rápidas en histología vegetal. Esto se usa para ver la calidad de las muestras de tejido y de las estructuras que contienen.

- **Hueso compacto o cortical**

El hueso compacto o cortical no posee cavidades vasculares, sino que su matriz extracelular se ordena en laminillas óseas, las cuales se pueden disponer de manera paralela o de manera concéntrica alrededor de un canal. (salud, 2019)

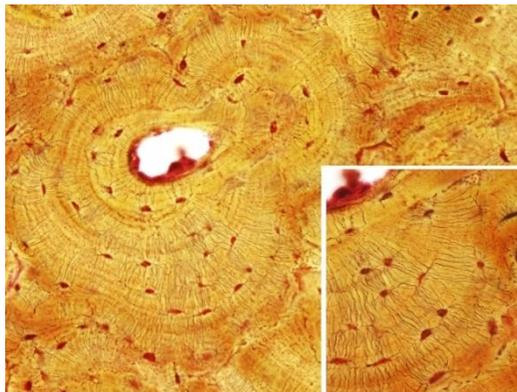


Figura 10. Hueso compacto

Fuente: (salud, 2019)

En la figura 10 muestran la imagen la osteona en el hueso compacto por medio de una técnica denominada desgaste. La osteona está formada por osteocitos o células óseas y laminillas óseas concéntricas.

Los huesos compactos tienen una mayor elasticidad a diferencia de los huesos esponjosos, por el contrario, la plasticidad del hueso es mayor en los huesos esponjosos que en los huesos compactos; es decir que resisten mayores deformaciones.

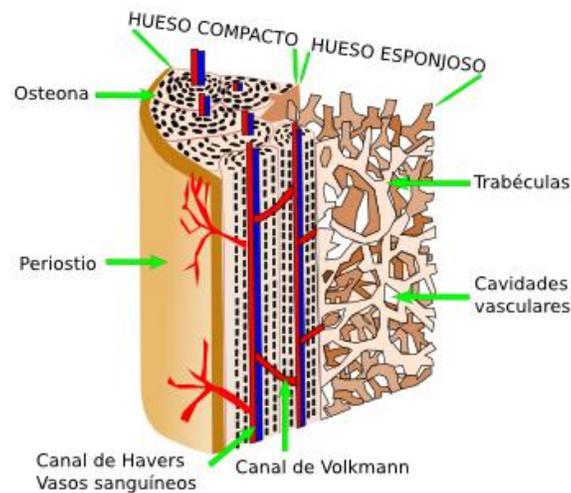


Figura 11. Sección de un hueso largo.

Fuente: (salud, 2019)

En la figura 11 muestra una sección de hueso largo donde se puede evidenciar la organización y localización de hueso compacto y del esponjoso.

- **Densidad del material óseo**

La cantidad de hueso se define como la masa mineral ósea (g), indicada por unidad de área como densidad mineral ósea (g/cm²); este parámetro se utiliza para determinar la resistencia del material óseo, aunque esta no solo dependa de su masa, sino también de sus propiedades estructurales, geométricas, y la composición de la matriz del hueso óseo. Es por esa razón que hay huesos en las reses que se consideran más porosos, según la funcionalidad en el cuerpo.

Por ende, en este proyecto se calculó la densidad del residuo óseo de res por medio del ensayo de laboratorio Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino (I.N.V.E 222); como se puede evidenciar en la figura

En un proyecto de investigación que se realizó incorporando hueso triturado de res en una mezcla, determinaron la densidad del hueso de res más específicamente la tibia, arrojando un valor de ($\delta=1,811 \text{ g/cm}^3$); considerando que dicho material orgánico se sometió a un proceso de limpieza del hueso: este se realizó por medio de la incorporación de una sustancia química que degradaba la carne. (BARRETO, SEBASTIÁN, ARIAS, & BAWINN, 2018)

- **Degradación del material óseo**

Los huesos normalmente se demoran en degradarse o deshidratarse 40 a 50 años; si estos están expuestos en medios ácidos, por esa razón se irá disolviendo con mayor facilidad; pero si, por el contrario, el hueso se encuentra en zonas con pH neutro o acidez neutra; estos pueden durar incluso cientos de años. (Bouzas, 2002)



Figura 12. Huesos que no presentan degradación.

Fuente: (Bouzas, 2002)



Figura 13. Huesos degradados presentan proceso de hidrolisis

Fuente: (Bouzas, 2002)

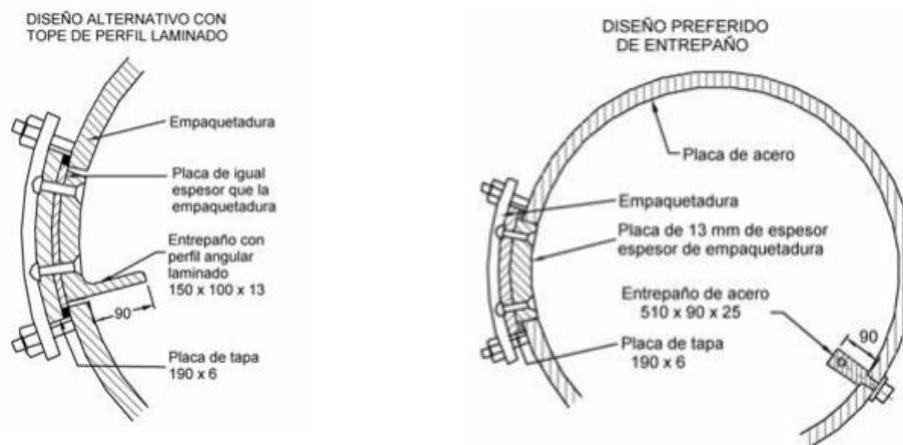
También se descomponen cuando permanecen mucho tiempo en ambiente húmedos; es decir que se desintegran perdiendo sus propiedades; a causa de la hidrolisis de la oseína. La oseína es una sustancia orgánica constituyente de los huesos. Estos sufren la descomposición de sustancias orgánicas por acción del agua, denominada hidrolisis. (Bouzas, 2002)

3.10.3 Proceso de preparación del hueso para la mezcla.

Inicialmente se seleccionó adecuadamente el material óseo, luego se expuso térmicamente a la exposición mediante el sol por un tiempo considerable (mayor a 2 meses), una vez obtenido el hueso seleccionado se trabajó en la caracterización mediante ensayos de laboratorio de dicho material. Se procedió a triturar el hueso por medio de la máquina de los ángeles, para poder tamizarlo y obtener las partículas que se encuentran entre los tamices N°8 (pasa) y N° 16 (retenido).

3.10.3 Proceso de tritutación del hueso óseo en la máquina de los ángeles:

La máquina para el ensayo de desgaste de Los Ángeles tendrá las características que se indican en la (Figura 12). Consiste en un cilindro hueco de acero, con una longitud interior de 508 ± 5 mm (20 ± 0.2 ") y un diámetro interior, de 711 ± 5 mm (28 ± 0.2 "), fabricado con una placa de acero de espesor entre 11.5 y 13 mm. ((E218-07), 2013)



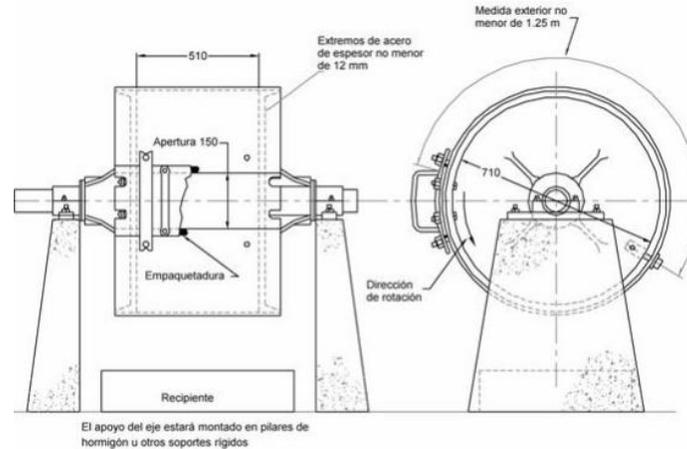


Figura 14. Máquina de los ángeles

Fuente: I.N.V. E – 218 – 07

El cilindro lleva sus extremos cerrados y tiene en el centro de cada extremo un eje, que no penetra en su interior, quedando el cilindro montado de modo que pueda girar en posición horizontal, con una tolerancia en pendiente del 1%, con el eje. El cilindro estará provisto de una abertura de 150 ± 3 mm de ancho, preferiblemente a lo largo del tambor, para introducir y retirar con facilidad la muestra, y un entrepaño fijo, para conseguir la rotación de la mezcla y de la carga abrasiva. ((E218-07), 2013)

La pérdida de velocidad y el deslizamiento del mecanismo de transmisión son causa frecuente de que los resultados del ensayo no coincidan con los obtenidos en otra máquina de desgaste de Los Ángeles con velocidad periférica constante. La carga abrasiva consistirá en esferas de acero, de un diámetro aproximado de 46.8 mm (1 27/32”) y una masa comprendida entre 390 g y 445 g. ((E218-07), 2013)

3.11 Propiedades del hueso óseo en los cubos de morteros.

3.11.1 Resistencia del hueso óseo en los cubos de mortero.

La principal función de hueso es permitir el movimiento de cuerpo; pero también tiene una función importante que es promover la resistencia con el fin de soportar todo el peso del cuerpo pues al realizar movimientos como caminar, correr, golpear y hacer ejercicio el hueso está recibiendo una fuerza que tiene que resistir y superar, pues de lo contrario, se produciría una fractura o una fisura en el sistema óseo. (BARRETO, SEBASTIÁN, ARIAS, & BAWINN, 2018)

Las pruebas de tracción, compresión y a flexión son las encargadas de describir el comportamiento de los huesos con el fin de conocer más acerca de las fuerzas actuantes sobre el material. ((E218-07), 2013)

En este proyecto nos basaremos en las pruebas de compresión, este es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión. Gracias a los ensayos preliminares, se pudo observar que la resistencia de los cubos de mortero con agregado de hueso de res, soportaban mayor carga, y otros soportaban la misma carga que los cubos de morteros convencionales.

3.11.2 Aligeramiento del hueso óseo en los cubos de mortero.

Otra de las propiedades de los cubos de mortero con agregado de hueso óseo es el aligeramiento. Esto se pudo evidenciar en los ensayos preliminares que se hicieron. Estos ensayos

estuvieron basados en tomar el peso de los cubos con y sin hueso óseo, después de desencofrar los cubos y después de ya que existe una disminución en el peso; por lo que es de gran beneficio para la estructura, pues el aligeramiento del hueso óseo en los cubos de mortero causa una reducción en el peso. Hablando a grandes rasgos, disminuiría la carga muerta y por ende los cimientos e incluso los demás elementos pertenecientes a la estructura podrían diseñarse de una manera consistente a la exigencia de la estructura y causaría una reacción a favor de la relación costo.

3.12 Estadística descriptiva.

3.12.1 Coeficiente de variación.

Es una medida estadística que indica qué tan grande es la desviación estándar en relación a la media. Este se utiliza especialmente para comparar variables con características diferentes; es decir que este es muy parecido al cociente entre las desviaciones típicas y la media. El valor final de estos es un número que indica la cantidad de veces que la desviación estándar contiene a la media. (estadísticos g. t., 2018)

$$CV = \frac{S}{|x|} * 100$$

Cv: coeficiente de variación.

S: Desviación típica

X: media aritmética

Ecuación 8. Coeficiente de variación

Fuente: (Sanchez de Guzan , 1987)

3.12.2 La desviación típica o desviación estándar:

Esta sirve para medir la variabilidad de los datos puesto que es la medida de dispersión más común; ya que ella indica que tan alejados o esparcidos están los datos con respecto a la media. Si la desviación es mayor, quiere decir que las dispersiones de los datos son mayor. (estadísticos G. t., 2019)

$$s = \sqrt{\frac{\sum(Y_i - Y)^2}{n - 1}}$$

($Y_i = Y_1, Y_2, \dots, Y_n$): son los valores observados de los elementos de la muestra.
Y: Es el valor medio de estas observaciones.
N: es el número de observaciones de la muestra.

Ecuación 9. Desviación típica

Fuente: (Sanchez de Guzan , 1987)

3.12.3 Media aritmética:

La media aritmética tiene como objeto estudiar los valores esperados, donde se suman todos los valores que se van a estudiar y se divide sobre el número de datos tomados. (superprof, 2017)

$$X = \frac{(X_1 + X_2 + \dots + X_n)}{n}$$

Ecuación 10. Media aritmética

Fuente: (Sanchez de Guzan , 1987)

3.12.4 Diagrama de caja.

El diagrama de caja es un gráfico para representar una variable numérica. Este diagrama se utiliza para comparar variables en diferentes grupos. El gráfico (figura 15) nos permite visualizar, a través de los cuartiles, cómo es la distribución, su grado de asimetría, los valores extremos, la posición de la mediana, entre otros factores. (superprof, 2017)

- Es una caja demarcado por el primer y tercer cuartil (Q_1 y Q_3). Adentro hay una línea que indica dónde se halla la mediana (segundo cuartil Q_2)
- Dos brazos, uno que empieza en el primer cuartil y acaba en el mínimo, y otro que empieza en el tercer cuartil y acaba en el máximo.
- Los datos atípicos son los valores distintos que no cumplen ciertos requisitos de heterogeneidad de los datos.

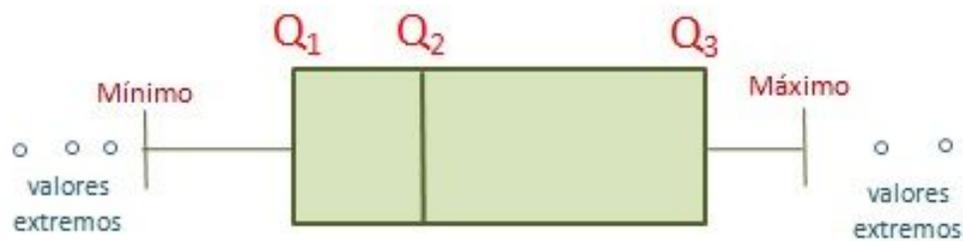


Figura 15. Diagrama de caja.

Fuente: (superprof, 2017)

4. Estado del Arte

En la actualidad la industria de la construcción genera una gran cantidad de diferentes residuos de materia prima, que se producen con la ejecución de obras civiles, estos residuos ocasionan una considerable contaminación a nuestro medio ambiente, viéndose reflejado en la cantidad de escombros que origina un proyecto de obra civil. Para contribuir desde la ingeniería civil en la disminución de los niveles de contaminación, se está innovando en materias primas que se consideren desechos o residuos de otras industrias y de esta manera ofrecer una nueva utilidad a estos materiales.

Dentro de los estudios e investigaciones que se realizaron a materiales orgánicos e inorgánicos incorporados en diseños de mezclas de concreto y mortero se encontró que en el año 2012 se realizó un proyecto de grado en la universidad pontificia bolivariana acerca de la evaluación del comportamiento mecánico de morteros modificados con ceniza de locaciones petroleras en el cual se planteó el uso de la ceniza proveniente de locaciones petroleras, como un sustituto de la arena en la preparación de mortero y se encontró según el análisis granulométrico y ensayos de gravedad específica que la ceniza tiene un comportamiento similar al del agregado fino. (Arenas Díaz, 2012). Posteriormente en el año de 2016 se realizó un análisis de la viabilidad ambiental de la utilización de morteros fabricados con polvo de vidrio en la estabilización de suelos, en el cual se buscó analizar el impacto ambiental producido por la utilización de morteros cuyo ligante son desechos

de polvo de vidrio, en este análisis se estimó que el único elemento liberado en forma apreciable es el sodio (procedente fundamentalmente del vidrio). (Maria Garcia, 2016)

Dentro de trabajos realizados con materiales orgánicos se elaboró un proyecto reciente en el año de 2019 que estudio del comportamiento mecánico de morteros modificados con aserrín bajo cargas de compresión, dicho estudio estimo la densidad, la resistencia a la compresión y el módulo elástico dinámico del mortero modificado con 0%, 0,5%, 1% y 3% de aserrín, así mismo los resultados mostraron que la fuerza de compresión, el módulo elástico y la densidad disminuyen a medida que aumenta el porcentaje de aserrín. (Ortega Sanchez, 2019)

Ecológicamente la implementación de materiales orgánicos en la construcción supone una eficiente reducción de contaminación es por esta razón que en el año de 2019 se realizó un proyecto con material orgánico de hueso triturado el cual modifica el diseño de mezcla del concreto convencional a partir del uso del hueso triturado como agregado grueso para ensayos de resistencia a la compresión obteniéndose resultados aceptables cuando la modificación de la mezcla de concreto se realizaba con un 10% de hueso triturado aunque se señaló que a medida en que se aumente el porcentaje, es decir, que haya un aumento en la cantidad de hueso triturado en la mezcla, el concreto reduce la resistencia en un 3% aproximadamente. (BARRETO, SEBASTIÁN, ARIAS, & BAWINN, 2018)

El proyecto en el cual se implementa la incorporación de hueso triturado de res en mezclas de concreto nos permitió identificar los aspectos positivos y negativos que conlleva realizar la sustitución de arena por residuo óseo seco de res y así mismo determinar las connotaciones que podría tener trabajar con residuo óseo seco de res incorporado en la mezcla de mortero.

5. Metodología

5.1 Información preliminar.

La investigación obtenida en la base de datos de la universidad pontificia bolivariana permitió conocer el trabajo que se ha venido realizando en la incorporación de nuevas materias primas en mezclas de concreto y mortero, especialmente a los procesos en los cuales se muestre la implementación de residuo óseo de res en mezclas de concreto como sustituto de agregado grueso. (BARRETO, SEBASTIÁN, ARIAS, & BAWINN, 2018)

La información obtenida de los proyectos donde se incorpora residuo orgánico muestra especial estudio en la previa caracterización a dicho material mediante ensayos de laboratorio y en el análisis de pruebas de resistencia a la compresión donde se sustituye agregado por residuo óseo de res.

5.2 Ensayos preliminares

En los ensayos preliminares se implementó residuo óseo seco de res, se fundieron cubos de mortero con un 15% y 50% de contenido de hueso de res. El los cuales se implementaron la sustitución de arena fina y gruesa obtenía del fondo del tamiz o el retenido en el tamiz N° 200 y el retenido en el tamiz N° 16 respectivamente, por los porcentajes escogidos de residuo oseo de res. Los cubos de mortero fueron sometidos a pruebas de compresión a los 28 días de curado. Los

resultados de morteros en los que se incorporó el 15% residuo óseo de res, con el material óseo retenido en el tamiz N° 16 y que paso el tamiz N° 8 permitieron establecer los porcentajes y el tamaño nominal, a trabajar en el proyecto gracias a sus buenos resultados obtenidos.

5.2.1 Diseño de mezclas para ensayos preliminares.

Tabla 3. Diseño de mezclas de mortero por metro cubico (m³)

<i>Material</i>	<i>Peso</i> (kg)	<i>Volumen</i> (m ³)	<i>Densidad</i> (Kg/m ³)
Cemento	471,66	0,160	2940
Arena	1386,43	0,522	2656
Agua	283	0,283	1000
Aire	0	0,035	0

Fuente: propia

La tabla 3 muestra el diseño de mezclas para un metro cubico de mortero, este se hizo para los ensayos preliminares.

Tabla 4. Diseño de mezclas de morteros con y sin sustitución de residuo óseo para 18 cubos con el 15 % de desperdicio.

<i>Material</i>	<i>Peso (kg)</i> <i>Convencional</i>	<i>Peso (kg)</i> <i>15%residuo</i> <i>óseo</i>	<i>Peso (kg)</i> <i>50%residuo</i> <i>óseo</i> <i>Peso</i>
Cemento	407	407	407
Arena	1196	1017	598
Agua	240	240	240

Fuente: propia

La tabla 4 muestra el diseño de mezclas para 18 cubos de mortero convencional, morteros con sustitución del 15% y 50% residuo óseo con el 15 % de desperdicio, este se hizo para los ensayos preliminares

5.2.2 Ensayo preliminar de mortero convencional con 140 ml de agua.



Figura 16. Ensayo preliminar de mortero convencional con 140 ml de agua.

Fuente: propia

La figura 14 muestra uno de los morteros sin adicionar residuo óseo de res siendo fallado por la máquina de resistencia a la compresión

Tabla 5. Datos preliminares de mortero convencional con 140 ml de agua.

Morteros fallados	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)
1	51,15	20,46
2	52,70	21,08
3	49,88	19,952

Fuente: propia

La tabla 5 representa los resultados de esfuerzo y carga de 3 cubos de mortero sin incorporar residuo óseo de res, fallados a 28 días de curado.

5.2.3 Ensayo preliminar de mortero con sustitución de agregado fino por el 15% de residuo óseo de res 140 ml de agua.



Figura 17. Sustitución de agregado fino por el 15% de hueso de res 140 ml de agua.

Fuente: propia.

La figura 15 muestra uno de los morteros con sustitución de agregado fino por el 15% de residuo óseo de res siendo fallado por la máquina de resistencia a la compresión.

Tabla 6. Sustitución de agregado fino por el 15% de hueso de res con 140 ml de agua.

Morteros fallados	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)
1	33,26	13,304
2	35,37	14,148
3	30,72	12,288

Fuente: propia

La tabla 6 representa los resultados de esfuerzo y carga de 3 cubos de mortero con 15% de residuo óseo de res, fallados a 28 días de curado.

5.2.4 Ensayo preliminar de mortero con sustitución de agregado fino por el 50% de hueso de res 190 ml de agua.



Figura 18. Sustitución de agregado fino por el 50% de hueso de res 190 ml de agua.

Fuente: propia.

La figura 16 muestra uno de los morteros con sustitución de agregado fino por el 15% de residuo óseo de res siendo fallado por la máquina de resistencia a la compresión.

Tabla 7. Sustitución de agregado fino por el 50% de hueso de res con 190 ml de agua.

Morteros fallados	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)
1	15,92	6,368
2	14,37	5,748
3	15,22	6,088

Fuente: propia

La tabla 7 representa los resultados de esfuerzo y carga de 3 cubos de mortero con 50% de residuo óseo de res, fallados a 28 días de curado.

5.2.5 Ensayo preliminar de mortero con sustitución de agregado fino por el 15% de hueso de res 120 ml de agua.



Figura 19. Sustitución de agregado fino por el 15% de hueso de res con 120 ml de agua.

Fuente: propia

La figura 17 muestra el peso de uno de los morteros con sustitución de agregado fino por el 15% de residuo óseo de res.

Tabla 8. Sustitución de agregado fino por el 15% de hueso de res con 120 ml de agua.

Morteros fallados	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)
1	61,72	24,688
2	60,45	24,18
3	58,65	22,66

Fuente: propia

La tabla 8 representa los resultados de esfuerzo y carga de 3 cubos de mortero con 50% de residuo óseo de res, fallados a 28 días de curado.

5.2.6 Ensayo preliminar de mortero con sustitución de agregado grueso por el 50% de hueso de res 120 ml de agua.



Figura 20. Ensayo preliminar de mortero con sustitución de agregado grueso por el 50% de hueso de res 120 ml de agua.

Fuente: propia

La figura 18 muestra uno de los morteros con sustitución de agregado grueso por el 50% de hueso de res, siendo fallado por la máquina de resistencia a la compresión.

Tabla 9. Sustitución de agregado grueso por el 50% de hueso de res 120 ml de agua.

Morteros fallados	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	41,15	16,46
2	42,98	17,192
3	39,31	15,724

Fuente: propia

La tabla 9 representa los resultados de esfuerzo y carga de 3 cubos de mortero con 50% de residuo óseo de res, fallados a 28 días de curado.

5.2.7 Tabla de resumen de las cargas de los morteros de los ensayos preliminares.

Tabla 10. Tablas de resumen de las cargas de los morteros de los ensayos preliminares.

Datos de los ensayos los morteros	Esfuerzo (MPa)	Promedio (MPa)
<i>Mortero convencional con 140 ml de agua.</i>	20,46	20,497
	21,08	
	19,952	
<i>Mortero con sustitución de agregado fino por el 15% de hueso de res 120 ml de agua</i>	13,304	13,246
	14,148	
	12,288	
<i>Mortero con sustitución de agregado fino por el 50% de hueso de res 190 ml de agua.</i>	6,368	6,068
	5,748	
	6,088	
<i>Mortero con sustitución de agregado grueso por el 15% de hueso de res 120 ml de agua</i>	24,688	23,842
	24,18	
	22,66	
<i>Mortero con sustitución de agregado grueso por el 50% de hueso de res 120 ml de agua.</i>	16,46	16,458
	17,192	
	15,724	

Fuente: propia.

En la tabla 10 se puede observar el resumen de los ensayos de mortero ordenados de mayor a menor resistencia a la compresión; el mortero con mayor resistencia o resistencia más cercana al mortero convencional, fue el mortero con sustitución de agregado fino por el 15% de hueso de res con 120 ml de agua.

5.3 Procedimiento

5.3.1 Selección del residuo óseo en plantas de procesamiento animal.

Inicialmente se buscó en plantas de procesamiento animal o expendios de carne residuos óseos de res especialmente de piernas o brazos de la res sacrificada puesto que se consideró menor número de poros en el residuo óseo.

5.3.2 Proceso de secado térmicamente del residuo óseo en zonas de poca humedad.

Una vez escogido el material, este se dispone térmicamente mediante la exposición al sol por un tiempo considerable (4 meses aproximadamente), prefiriendo lugares de baja humedad como azoteas de casas de tal manera que no representen un deterioro considerable del material, efectuando un seguimiento semanal del mismo.



Figura 21. Proceso de Secado del Hueso

Fuente: propia

La figura 19 muestra algunos residuos óseos de res que se utilizaron para ser trabajados en este proyecto una vez expuesto térmicamente constantemente a los rayos del sol.

Estando seco el residuo óseo de res se fracturo manualmente con la ayuda de un mazo de acero en fragmentos pequeños para su posterior selección mediante el tamizado. Las partículas que se trabajaron fueron las que se encuentran entre los tamices N°8 (pasa) y N° 16 (retenido) como se muestra en la figura 20, hasta obtener un aproximado de la cantidad necesaria según el diseño realizado para su aplicación en la mezcla de mortero



Figura 22. Tamizado del Hueso.

Fuente: propia

5.3.3 Implementación de la máquina de los ángeles en la obtención de material fino de residuo óseo seco de res.

Se fracturo el material de residuo óseo seco de res, mediante el mazo de acero en partículas de tamaño menor, pero sin lograr el tamaño para ser considerado como agregado fino, se introduce el material orgánico a la máquina de los ángeles con sus respectivas esferas de acero (figura 21).

La cantidad de material de residuo óseo a introducir en la máquina de los ángeles fue de 6 kg a 1000 vueltas de dicha máquina, una vez tamizado este material se extrajo alrededor de 1kg de residuo óseo de res.

Para la obtención de las partículas de tamaño del agregado fino se extrae el material de la máquina de los ángeles en una bandeja y se selecciona el material fino por medio del tamizado hasta obtener la cantidad requerida según el diseño.



Figura 23. Trituración del hueso óseo en la máquina de los ángeles.

Fuente: propia

5.3.4 Densidad de los cubos incorporando residuo óseo de res.

Antes de realizar la prueba de resistencia a compresión de morteros a (7, 14 y 28) días, se secaron cada uno de los cubos de mortero que se encontraban en el proceso de fraguado con una toalla, se pesaron cada uno de los cubos a ser ensayados y se determinó su volumen considerándose un dato estándar por ser fundidos en formaletas con iguales dimensiones (50x50x50)mm para

después determinar mediante su peso y volumen la densidad promedio que presentan los morteros con adición del 10% y 15% de residuo seco de res y los morteros de control es decir los convencionales.

5.4 Caracterización de los materiales.

Se realizó en el laboratorio de materiales de construcción de la universidad pontificia bolivariana ensayos a los materiales a trabajar de tal manera que permitió establecer sus propiedades mecánicas mediante requerimientos técnicos estipulados en la N.T.C. - I.N.V.E

- **Cemento**

Para la elaboración del mortero se empleó cemento hidráulico color gris, tipo 1 marca CEMEX (figura 22), el cual cumple con la regulación de la NTC 121.

A este cemento hidráulico se le realizó la adecuada caracterización mediante los siguientes ensayos de laboratorio y obteniendo los resultados de los mismos.



Figura 24. Cemento hidráulico CEMEX

Fuente: Propia

- **Densidad del cemento hidráulico INV E-307-13**

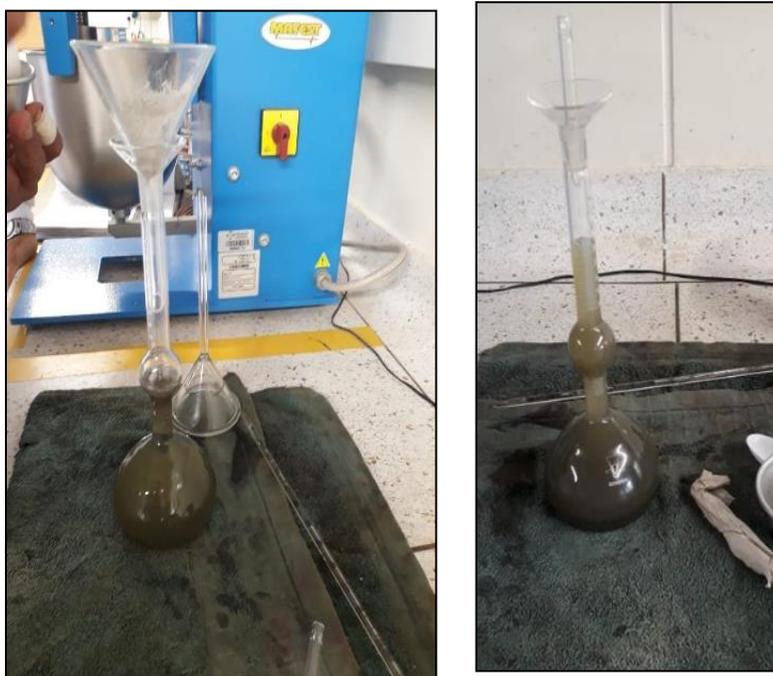


Figura 25. Densidad del cemento hidráulico

Fuente: Propia

En la figura 23 muestra el procedimiento para hallar la densidad del cemento hidráulico, este suministro una ($\rho=2,92 \text{ g/cm}^3$). Se obtuvo este valor al sumergir el frasco en el baño de agua; luego se sacudió para sacar las burbujas de aire; se volvió adicionar el frasco en el baño de agua y por último se tomó la lectura. (INVIAS I. N., 2007)

- **Tiempo de fraguado (Vicat) NTC 118**



Figura 26. Tiempo de fraguado

Fuente: Propia

En la figura 24 explican cómo se llevó a cabo el ensayo de tiempo de fraguado, el cual arrojo un valor de ($T_f= 210 \text{ min}$). Este ensayo es el método de Vicat, el cual mide la resistencia que ejerce la pasta de cemento a lo largo del tiempo, amasada solamente con agua. (Colombiana N. T., 2004)

- **Finura Blaine (NTC 33)**



Figura 27. Finura de Blaine.

Fuente: Propia

En la figura 25 muestra el ensayo de finura de Blaine, el cual al realizar sus cálculos arrojó un valor de ($S_{promedio} = 345,22$). En este ensayo se instaló el disco perforado en la celda y luego se introdujo el papel filtro. Se procedió a evacuar el aire en el manómetro; se abrió la válvula para que subiera el líquido manométrico hasta que encontramos la marca superior. (Colombiana N. T., 2013)

- **Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico NTC 110 - 2013**



Figura 28. Consistencia normal.

Fuente: Propia

En la figura 26 muestra el ensayo del método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico; el cual suministro (*consistencia normal de 0,268 es decir 27%*). En esta prueba primero se colocó la pasta y el molde, se centró debajo del vástago, se hizo descender el émbolo hasta que haga contacto con la superficie de la pasta. Este ensayo nos permite conocer el porcentaje de cantidad de agua que es necesaria agrégale al peso de cemento. (Colombiana N. T., Método para la determinar la consistencia normal del cemento hidraulico NTC 110, 2013)

- **Agregado fino.**

Se empleó arena extraída del río Umpala, y se realizó a este agregado los respectivos ensayos para su caracterización.

- **Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino (I.N.V.E 213)**

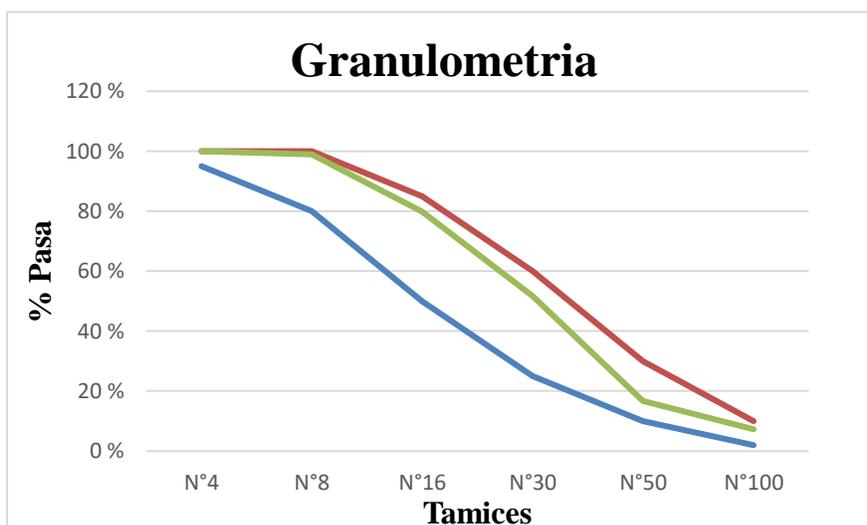


Figura 29. Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino

Fuente: Propia

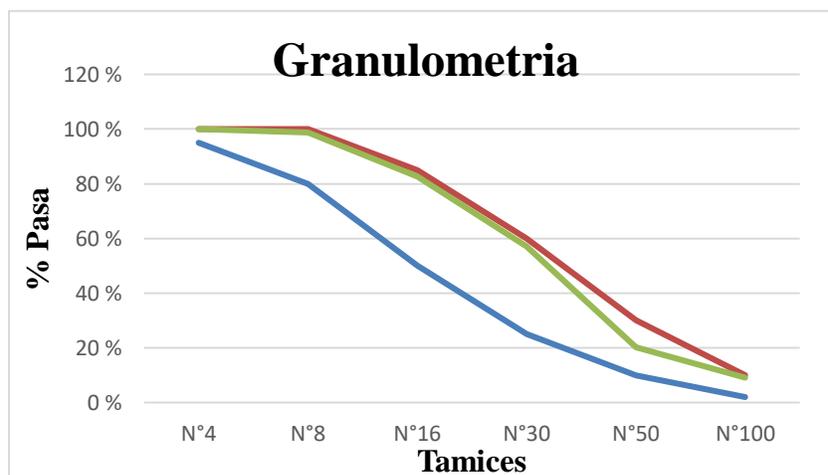
En la figura 27 se realizó el análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos; el cual suministro (*El módulo de finura determinado para esta arena fue de 2,45 y 2,4*). En esta prueba se ordenaron los tamices 1/4", 3/4", N°4, N°6, N°8, N°12, N°16, N°40, N°50, N°100 Y N°200. Luego se procedió hacer el proceso de tamizado manual y por último se tomaron as partículas de tamiz. (INVIAS I. N., Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos inve 213 , 2007)

Se realizaron dos ensayos de granulometría, esto se hizo para estar seguros que el ensayo se hizo correctamente.



grafica 1 Primer ensayo de análisis granulométrico de los agregados grueso y fino

Fuente: propia



grafica 2. Segundo ensayo de análisis granulométrico de los agregados grueso y fino

Fuente: propia

En la gráfica 1 y 2 se puede observar que en las gráficas granulométricas de los agregados finos no sobresalen del límite superior, ni inferior de la curva, como está establecida en la norma NTC 174, por lo tanto, es un material recomendable para el diseño de mezcla.

- **Equivalente de arena de suelos y agregados finos (I.N.V.E 133)**

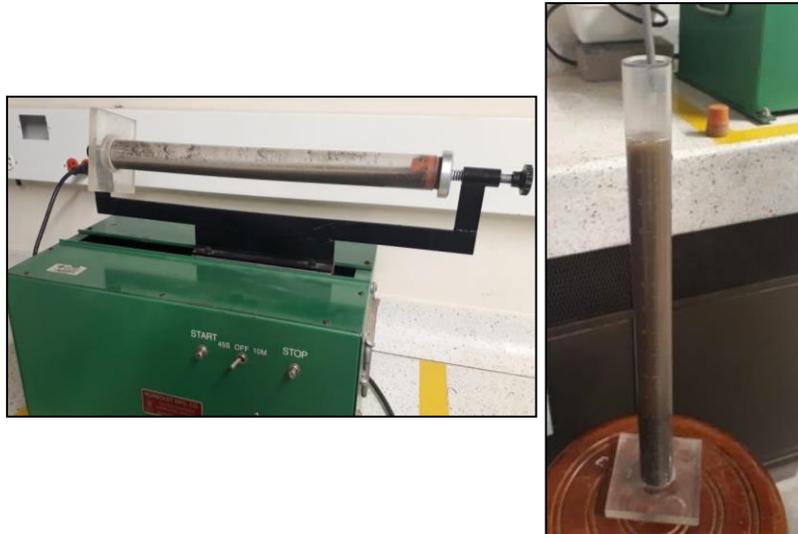


Figura 30. Equivalente de arena suelos y agregado fino

Fuente: Propia

En la figura 28 muestra la prueba de equivalente de arena de suelos y agregados finos; el cual nos suministró un valor de (*equivalente de arena de 79,49%*). Este ensayo se basó en realizarle a un volumen determinado de suelo o agregado fino se le adicione una pequeña cantidad de solución floculante. Después de un período de sedimentación, se determinaron las alturas de la arcilla floculada y de la arena en el cilindro. (INVIAS113)

- **Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino (I.N.V.E 222)**



Figura 31. Densidad relativa de los agregados finos

Fuente: Propia

En la figura 29 se realizó la prueba de densidad relativa de los agregados finos, con el cual se calculó la densidad que fue de ($\rho = 2,66 \text{ g/cm}^3$). Esta prueba consistió en llenar parcialmente el picnómetro con agua. Inmediatamente, se introducen en el picnómetro, EL agregado fino saturado y superficialmente seco. Para eliminar el aire atrapado se gira manualmente. (INVIAS I. N., Densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción del agregado fino I.N.V.E 222, 2007)

- **Densidad bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto (I.N.V.E 217)**



Figura 32. Densidad de Bulk

Fuente: Propia

En la figura 30 se realizó el ensayo de densidad de bulk, con la cual se calculó la masa unitaria suelta y compacta (*MUS de 6,56 g/cm³ y MUC de 7,05 g/cm³*). Esta prueba consistió en colocar el agregado en el recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente. Cada una de las capas se compactó con 25 golpes de varilla. Una vez compactada la última capa, se determinó la masa del recipiente lleno. (INVIAS I. N., Densidad bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos en estado suelto y compacto I.N.V.E 217), 2005)

- **Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado I.N.V. E – 122.**



Figura 33. Contenido de agua en agregado fino (Humedad)

Fuente: Propia

En la figura 31 se llevó a cabo la prueba de contenido de agua en los agregados finos, con el fin de conocer la humedad, la cual suministro un valor de (humedad **de 0,897%**). Primer se pesó el material antes de introducirse al horno, se dejó por aproximadamente 24 horas, luego se sacó y se pesó el material. (INVIAS I. N., Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo- agregado I.N.V.E 122, 2006)

- **Contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en preparación de morteros o concretos I.N.V. E – 212 – 07.**

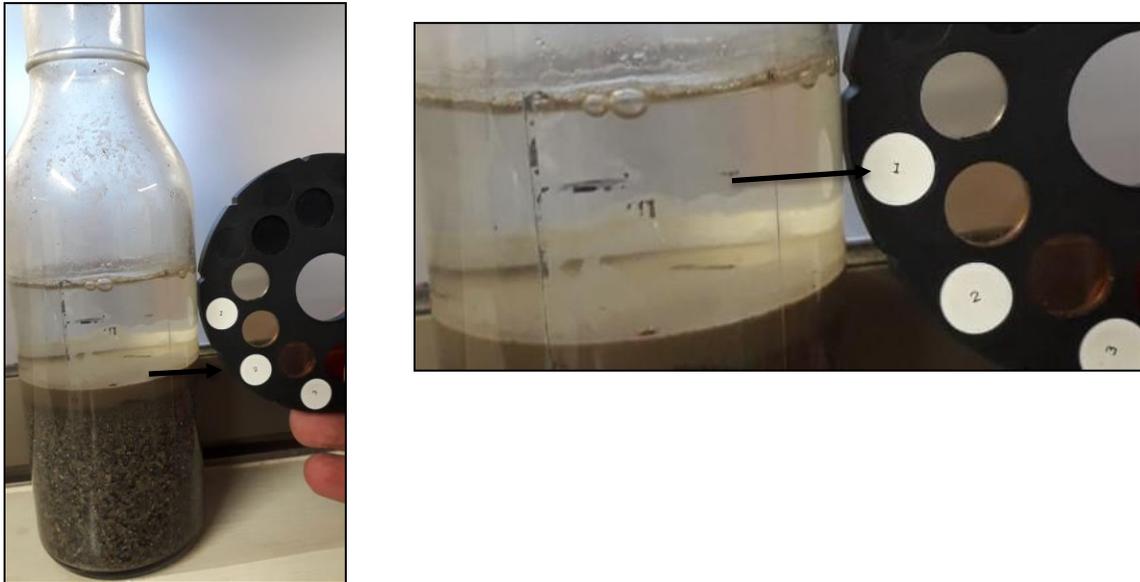


Figura 34. Materia orgánica en arenas

Fuente: Propia

En la figura 32 muestra la prueba de materia orgánica en arenas, el cual suministró un valor de (*materia orgánica de 1*). El procedimiento de este ensayo consistió en colocar arena en la botella hasta completar un volumen aproximado de 130 ml. Este se agita y se deja reposar por 24 horas. Después de realizado el ensayo Se obtuvo grado de contenido de materia orgánica 1. En la escala colorimétrica de Gardner (INVIAS I. N., Contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en preparación de morteros o concretos I.N.V.E 212, 2007)

- **Residuo óseo de res.**

Se estableció un tamaño nominal de partículas de hueso de res estimado entre los tamices N°8 (pasa) y N° 16 (retenido); Estos valores se establecieron gracias a ensayos preliminares

El material orgánico presenta un considerable índice de absorción por esta razón se llegó a la determinación de saturar el material óseo con agua por 24 horas antes de realizar la mezcla de mortero, suministrándolo a la mezcla de mortero saturado superficialmente seco (S.S.S.).

- **Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado I.N.V. E – 122 (en residuo óseo de res).**



Figura 35. Contenido de agua del residuo óseo (humedad)

Fuente: Propia

En la figura 33 se realizó el ensayo de contenido de agua de residuo óseo, el cual suministro un valor de (humedad **de 5,08%**). Esta prueba se pesó el material antes de introducirse al horno, se dejó por aproximadamente 24 horas, luego se sacó y se pesó el material. El contenido de agua se calcula relacionando la masa de agua en la muestra húmeda con la masa de la muestra seca. (INVIAS I. N., Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo- agregado I.N.V.E 122, 2006)

- **Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino (I.N.V.E 222) (en residuo óseo de res).**

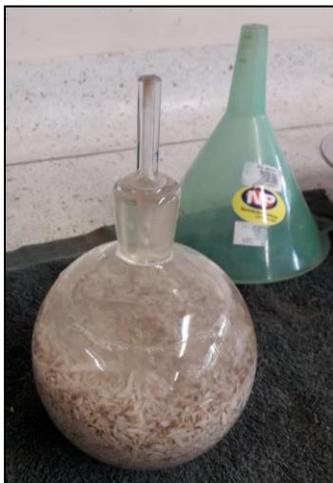


Figura 36. Densidad relativa del residuo óseo

Fuente: Propia

En la figura 34 muestra la prueba de densidad relativa del residuo óseo, la cual nos dio un valor de ($\rho = 2,135 \text{ g/cm}^3$). En este ensayo Se llena parcialmente el picnómetro con agua. Inmediatamente, se introdujo en el picnómetro, $500 \pm 10 \text{ g}$, preparado, y se le adiciono agua hasta aproximadamente 90 % de su capacidad. Para eliminar el aire atrapado se gira manualmente. (INVIAS I. N.,

Densidad, densidad relativa (gravedad especifica), y absorción del agregado fino I.N.V.E 222, 2007)

Para la determinación de la cantidad de absorción del material óseo seco se realizó un proceso en el cual consta de la implementación de una probeta con 100ml de agua (valor inicial) a continuación se sumergió una cantidad 20g de residuo óseo en la probeta, realizando un seguimiento constante (15 min) de la altura cambiante del agua reportado como se expresa en la tabla 11

Tabla 11. Absorción del material de residuo óseo de res.

<i>Lectura</i>	<i>Tiempo (min)</i>	<i>Altura (ml)</i>
1	15	114
2	30	114
3	45	112
4	60	112
5	75	112
6	90	112

Fuente: propia

- **Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino (I.N.V.E 213)**



Figura 37. Granulometría del hueso de res.

Fuente: Propia

En la figura 35 se realizó el ensayo de granulometría al hueso de res, en los ensayos preliminares se determinó que se trabajaría con las **partículas que se encuentran entre los tamices N° 8 (pasa) y N° 16 (retenido)**. El procedimiento de esta prueba consistió en ordenar los tamices; Luego se procedió hacer el proceso de tamizado manual y por último se tomaron valores estándar (las partículas de tamices N°8 (pasa) y N° 16) (retenido). (INVIAS I. N., Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos inve 213 , 2007)

- **Agua**

El agua empleada en la mezcla de diseño está amarrada a las disposiciones y recomendaciones técnicas de la norma NTC 3459, para diseños de mezclas de mortero.

- Densidad (Ga), se puede asumir:

$$Ga = 1,00 \text{ kg} / (\text{dm})^3$$

5.4.1 Diseño de mezcla del mortero.

Se realizaron morteros convencionales es decir sin agregado de residuo óseo seco de res con el fin de hacer una diferenciación comparativa de resultados en cuanto se refiere a la carga que soporta tanto el mortero convencional como morteros incorporando el 10% y 15% de agregado de residuo óseo

Para el diseño del mortero se usó el procedimiento descrito para los requerimientos, así como sugerencias e indicaciones del libro del ingeniero Diegos Sánchez de Guzmán “Tecnología del concreto y del mortero” (Sanchez de Guzan , 1987) para morteros tipo M que establecen resistencia de 17,5 MPa fundiendo cubos de (50*50*50) mm. Gracias a los resultados de los ensayos se efectuó la caracterización de los materiales, se estableció las cantidades adecuadas de material para implementarse en la determinación de la resistencia, cumpliendo las especificaciones técnicas colombianas expuestas a continuación.

- **Referencias parámetros de diseño (Norma) NTC 1377**
- **Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm ó 50,8 mm de lado NTC 220.**



3	2019-10-01	10:57:11	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8252	314.51	38.12	1688866	0.180	206	104
3	2019-10-01	11:36:44	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	263.08	30.97	1748943	0.174	206	104
13	2019-10-01	15:23:00	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	48.18	5.78	1748943	0.174	206	104
13	2019-10-01	15:24:30	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	50.87	5.90	1748943	0.174	206	104
113	2019-10-01	15:26:46	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	51.43	6.05	1748943	0.174	206	104
113	2019-10-01	15:28:10	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	51.23	6.04	1748943	0.174	206	104
114	2019-10-01	15:29:53	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	43.83	5.15	1748943	0.174	206	104
114	2019-10-01	15:32:16	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	41.25	4.95	1748943	0.174	206	104
114	2019-10-01	15:33:59	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	48.06	5.42	1748943	0.174	206	104
114	2019-10-01	15:35:28	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	12.40	1.46	1748943	0.174	206	104
114	2019-10-01	15:36:56	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	46.50	5.47	1748943	0.174	206	104
114	2019-10-01	15:38:07	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	47.21	5.56	1748943	0.174	206	104
114	2019-10-01	15:39:07	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	45.66	5.37	1748943	0.174	206	104
114	2019-10-01	15:40:44	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	17.75	2.00	1748943	0.174	206	104
114	2019-10-01	15:41:55	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	17.61	2.07	1748943	0.174	206	104
114	2019-10-01	15:42:40	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	41.58	4.94	1748943	0.174	206	104
114	2019-10-01	15:44:12	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	43.53	5.31	1748943	0.174	206	104
115	2019-10-01	15:45:28	Verdadero	sergio	clase	1	re	0.25	305	8495	43.53	5.31	1748943	0.174	206	104

Figura 38. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico.

Fuente: Propia

En la figura 36 se realizó la determinación de la resistencia de mortero de cemento hidráulico; es decir que se fallaron los cubos de mortero con y sin agregado de hueso de res para conocer su resistencia.

- **Método para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico NTC 111.**



Figura 39. Determinación de la fluidez de morteros de cemento hidráulico

Fuente: Propia

En la figura 37 se muestra el ensayo de fluidez el cual determina las cantidades adecuadas de agua en el diseño de mezcla.

Según el diseño de mezclas que se realizó, se debía adicionar la cantidad de agua necesaria para que la fluidez de la mezcla cumpliera con las especificaciones, por lo tanto se emplearon unos rangos de porcentaje de humedad como se puede evidenciar en la ilustración 3. A la mezcla de arena y cemento se le adiciono un porcentaje de agua respecto a su peso, se apisono sobre el molde cónico en tres capas, donde cada capa se compacto con una varilla, posteriormente del apisonado se retiró el cono que está ubicado sobre la mesa de flujo, la mezcla se golpeó 25 veces mediante la manivela conectada al engranaje que deja caer la mesa, el mortero se expandió, y se tomó la medida del diámetro generado; No fue necesario adicionar más agua, por lo que está en el primer

ensayo se expandió unas 8 o 9 pulgadas, es decir que cumplió las especificaciones para mortero tipo M (fluidez: 115-125); por ende no fue necesario hacer ajustes por humedad al diseño.

- **Según los resultados de los ensayos realizados a los materiales que complementan el diseño de mezcla de mortero se obtuvieron las siguientes cantidades de arena cemento y agua.**

Tabla 12. Calculo de cantidades originales.

<i>Material</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Volumen (m³)</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>
<i>Cemento</i>	<i>560</i>	<i>0,19178</i>	<i>2920</i>
<i>Arena</i>	<i>1341,76</i>	<i>0,50442</i>	<i>2660</i>
<i>Agua</i>	<i>268,8</i>	<i>0,26880</i>	<i>1000</i>
<i>Aire</i>	<i>0</i>	<i>0,035</i>	<i>0</i>

Fuente: Propia

En la tabla 12 muestra las cantidades originales, es decir las cantidades para morteros convencionales para un metro cubico (m³)

Tabla 13. Cantidades totales para 216 cubos de morteros con agregado de hueso de res con el 15% y 10%, y morteros convencionales.

	Material	Peso(kg) 15%	Peso(kg) 10%	Peso(kg) convencional o de control
cantidades para 72 cubos con desperdicio del 15%	Cemento Kg	0,75600	0,75600	0,75600
	Arena kg	1,53967	1,63024	1,81138
	Agua L	0,36288	0,36288	0,36288
	Hueso de res kg	0,21808	0,14539	0
	Aire	0	0	0
	Acelerante	0,22680	0,22680	0,22680

Fuente: Propia.

En la tabla 13 muestra las cantidades totales para fundir 20 cubos para cada uno de los porcentajes volumétricos (10% y 15%), más los convencionales es decir sin agregado óseo de res, arrojando un total parcial de 60 cubos de mortero para ser fallados a los 7 días después de ser curados en piletas, repitiéndose el procedimiento para 14 días y 28 días para un total de cubos de mortero convencional y con sustitución de hueso de res de 180 cubos.

- **Cálculo de volúmenes para las cantidades de sustitución de agregado fino por residuo óseo en el diseño de mezclas.**

En primer lugar, se cogieron los datos originales como se pueden evidenciar en la tabla 9; luego se procedió a calcular las cantidades en volúmenes de arena y residuo óseo, para así poder conocer la cantidad de peso real de estos; puesto que se sustituyó el agregado fino por residuo óseo.

Tabla 14. Cantidades del 15% de sustitución de agregado fino por residuo óseo

<i>Material</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>	<i>Volumen(m³)</i>
Cemento Kg	560	2920	0,19178
Arena kg	1207,58	2660	0,45398
Agua L	268,8	1000	0,26880
Hueso de res kg	107,69	2135	0,05044
Aire	0	0	0,035

Fuente: propia

En la Tabla se puede evidenciar las cantidades del 15% de sustitución de agregado fino por residuo óseo

Tabla 14. Cantidades del 10% de sustitución de agregado fino por residuo óseo

<i>Material</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>	<i>Volumen(m³)</i>
Cemento Kg	560	2920	0,19178
Arena kg	1140,496	2660	0,42876
Agua L	268,8	1000	0,26880
Hueso de res kg	161,541	2135	0,07566
Aire	0	0	0,035

Fuente: propia

En la Tabla 15 se evidencian las cantidades del 15% de sustitución de agregado fino por residuo óseo.

Las cantidades de cemento y agua del 10% y 15% de sustitución de agregado fino por residuo óseo, se mantuvieron las cantidades originales, puesto que estas no cambiaban y se calcularon sus volúmenes con la ecuación.

$$volumen(m^3) = \frac{peso (kg)}{Densidad \left(\frac{kg}{m^3}\right)}$$

Ecuación 11. Volumen

Fuente: propia

Para la arena y hueso de res si cambiaban las cantidades originales, ya que se sustituía el 10% y 15% de agregado fino por residuo óseo. Estos cálculos se hicieron primero hallando el volumen y luego de conocer este, se halló el peso; esto se hizo así porque en el ensayo preliminar nos dimos cuenta que nos sobraba mezcla, puesto que el hueso tiene menor densidad con respecto a la arena, entonces este ocupaba más volumen.

Los pesos con sustitución del 10% de agregado fino por residuo óseo se calcularon con las siguientes ecuaciones.

$$\mathbf{volumen\ de\ la\ arena\ (10\%) = volumen\ original * 0,90}$$

Ecuación 12. Volumen de arena para el 10 % de sustitución de agregado fino y hueso de res.

Fuente: propia

$$\textit{peso de la arena} = \textit{volumen arena (10\%)} * \textit{densidad de la arena}$$

Ecuación 13. Pesos de la arena para el 10 % de sustitución de agregado fino y hueso de res.

Fuente: propia

$$\textit{volumen de hueso(10\%)} = \textit{volumen original} * 0,10$$

Ecuación 14. Volumen de hueso para el 10 % de sustitución de agregado fino y hueso de res.

Fuente: propia

$$\textit{peso del hueso} = \textit{volumen hueso (10\%)} * \textit{densidad del hueso}$$

Ecuación 15. Peso de la arena para el 10 % de sustitución de agregado fino y hueso de res.

Fuente: propia

Los pesos con sustitución del 15% de agregado fino por residuo óseo se calcularon con las siguientes ecuaciones.

$$\textit{volumen de la arena (15\%)} = \textit{volumen original} * 0,85$$

Ecuación 16. Volumen de arena para el 15 % de sustitución de agregado fino y hueso de res.

Fuente: propia

$$\textit{peso de la arena} = \textit{volumen arena (15\%)} * \textit{densidad de la arena}$$

Ecuación 17. Volumen de arena para el 15 % de sustitución de agregado fino y hueso de res.

Fuente: propia

$$\textit{volumen de hueso(15\%)} = \textit{volumen original} * 0,15$$

Ecuación 18. Volumen del hueso para el 15 % de sustitución de agregado fino y hueso de res.

Fuente: propia

$$\textit{peso del hueso} = \textit{volumen hueso (15\%)} * \textit{densidad del hueso}$$

Ecuación 19. Peso del hueso para el 15 % de sustitución de agregado fino y hueso de res.

Fuente: propia

- **Preparación de la mezcla con sustitución de hueso de res.**

La realización de la mezcla con la sustitución de los porcentajes de arena por hueso de res se efectuará inicialmente saturando de agua el material óseo como se ha dicho previamente para proporcionar una absorción relativa en las fundidas a realizar. El diseño de mezcla realizado proporciona la dosificación de los materiales para su vaciado a las formaletas.

6. Resultados.

6.1 Resultados de resistencia a la compresión de cubos de mortero convencionales

A los morteros con diseño de 17,5 MPa tipo M se le realizaron pruebas de resistencia a la compresión. Se fundieron 180 cubos en total de morteros entre convencionales y con adición de 10% y 15% agrado orgánico, 60 para cada mezcla, para ser fallados a los (7, 14, 28) días de fundidos con su respectivo curado con el fin de obtener datos de esfuerzo.

A continuación, se presentan las siguientes tablas con datos de densidad, resistencia, carga, peso y volumen de los morteros fundidos. Los resultados muestran también un aumento en la resistencia de diseño en un 15 %

6.1.1 Resistencia de cubos de morteros a los 7 días de curado

Se realizó pruebas de resistencia compresión a 20 cubos de morteros convencionales, después de 7 días de fundidos.

Tabla 15. Resistencia de cubos de morteros a los 7 días de curado.

N° cubo	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Peso (g)	Volumen (mm ³)	Densidad (g/ mm ³)
1	32,41	12,96	288	125	2,304
2	37,34	14,93	282	125	2,256
3	21,70	11,68	284	125	2,272
4	32,55	13,02	284	125	2,272
5	34,95	13,98	289	125	2,312
6	36,64	14,65	286	125	2,288
7	31,14	12,45	282	125	2,256
8	45,37	18,14	281	125	2,248
9	40,44	16,17	282	125	2,256
10	35,80	14,30	284	125	2,272
11	34,66	13,86	282	125	2,256
12	33,54	13,41	284	125	2,272
13	38,75	15,5	286	125	2,288
14	35,51	14,20	287	125	2,296
15	36,07	14,42	281	125	2,248
16	41,15	16,46	286	125	2,288
17	37,20	14,88	289	125	2,312
18	36,78	14,71	281	125	2,248
19	38,89	15,55	281	125	2,248
20	35,65	14,26	281	125	2,248
Promedio	35,83	14,33	284,00	125	2,272
σ	4,560	1,823	2,720	0	0,022
C.V.	12,72	12,72	0,95	0	0,95

Fuente: propia

En la tabla 16 se muestran los datos recopilados de la prueba a compresión, fallados a los 7 días de curado.

Los resultados obtenidos de los 20 cubos fallados, arrojo un promedio de esfuerzo de 14,33 MPa y un promedio de 2,272 (g/cm^3) de densidad.

6.1.2 Resistencia de cubos de morteros a los 14 días de curado

Tabla 16. Resistencia de cubos de morteros a los 14 días de curado

N° cubo	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Peso (g)	Volumen (mm ³)	Densidad (g/ mm ³)
1	46,64	18,66	294	125	2,35
2	45,94	18,38	283	125	2,26
3	53,26	21,30	287	125	2,29
4	47,35	18,94	285	125	2,2
5	47,91	19,16	287	125	2,29
6	47,21	18,88	287	125	2,29
7	53,97	21,59	281	125	2,24
8	50,73	20,29	287	125	2,29
9	45,80	18,32	289	125	2,31
10	50,87	20,35	282	125	2,25
11	51,86	20,74	287	125	2,29
12	45,94	18,38	281	125	2,24
13	42,84	17,14	280	125	2,24
14	29,17	11,67	283	125	2,26
15	45,77	18,31	286	125	2,29
16	33,96	13,58	287	125	2,29
17	46,50	18,6	299	125	2,39
18	37,78	15,11	283	125	2,26
19	43,18	17,27	288	125	2,30
20	48,44	19,38	290	125	2,32
Promedio	45,76	18,30	286,33	125	2,29
σ	6,276	2,405	4,500	0	0,041
C.V.	13,71	13,71	1,57	0	1,79

Fuente: propia

En la tabla 17 se muestran los datos de la prueba a compresión de mortero convencional, fallados a los 14 días de curado.

Los resultados obtenidos de los 20 cubos fallados arrojó un aumento esperado en el promedio de esfuerzo de 18,30 MPa y un aumento de la densidad promedio de los cubos de 2.29 (g/cm^3) siendo una causa probable del aumento el proceso de curado de los cubos.

6.1.3 Resistencia de cubos de morteros a los 28 días de curado

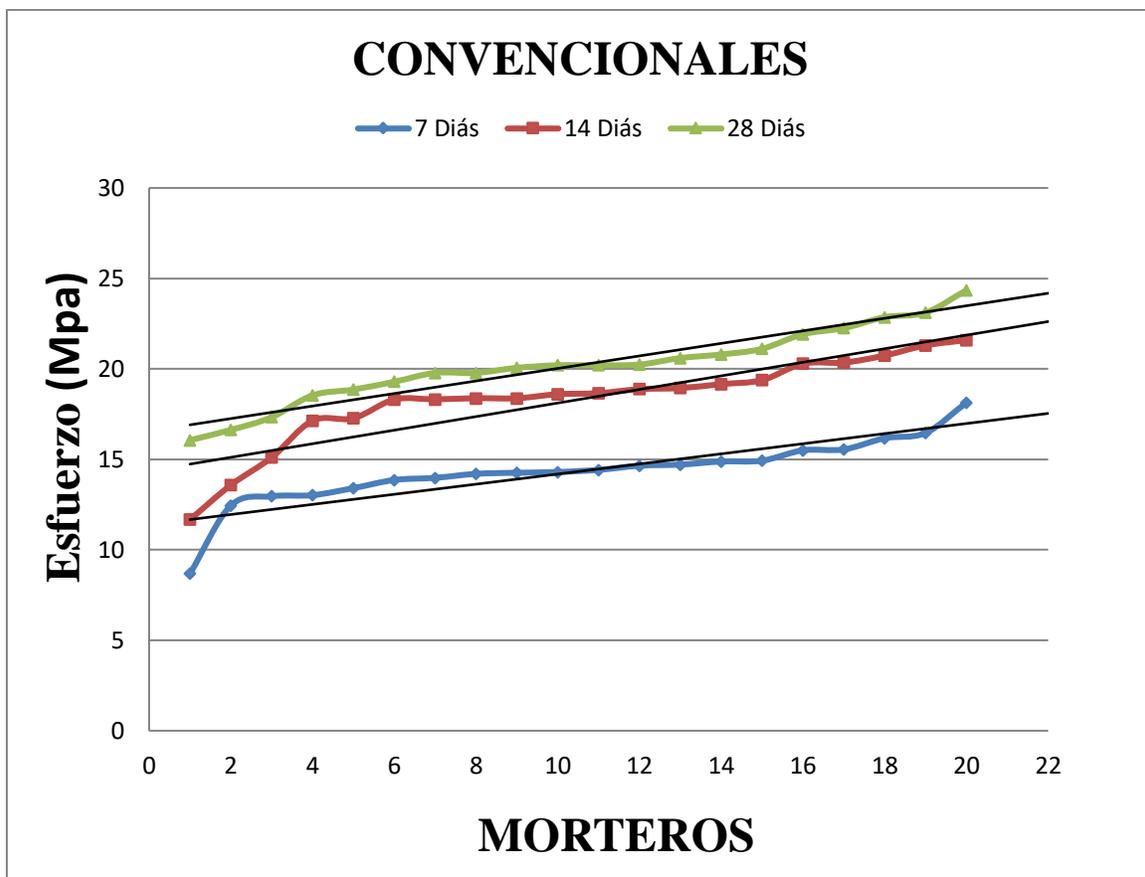
Tabla 17. Resistencia de cubos de morteros a los 28 días de curado

N° cubo	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	52	20,80	283	125	2,26
2	57,77	23,11	290	125	2,32
3	50,16	20,06	291	125	2,32
4	41,58	16,63	285	125	2,28
5	40,16	16,06	288	125	2,30
6	46,36	18,54	280	125	2,24
7	60,87	24,35	282	125	2,25
8	54,81	21,92	287	125	2,29
9	50,59	20,24	288	125	2,30
10	50,51	20,20	292	125	2,33
11	49,44	19,78	287	125	2,29
12	51,51	20,60	286	125	2,28
13	55,62	22,25	289	125	2,31
14	57,16	22,86	286	125	2,28
15	50,49	20,20	287	125	2,29
16	52,77	21,11	287	125	2,29
17	43,33	17,33	288	125	2,30
18	47,15	18,86	286	125	2,28
19	49,45	19,78	286	125	2,28
20	48,23	19,29	285	125	2,28
Promedio	50,48	20,19	286,58	125	2,29
σ	5,156	2,006	2,798	0	0,022
C.V.	10,21	9,86	0,97	0	0,95

Fuente: propia

En la tabla 18 se muestran los datos recopilados de la prueba a compresión de mortero sin incorporar residuo óseo seco de res fallados a los 28 días de curado.

La grafica 3 representa los resultados obtenidos de resistencia a los 20 cubos de mortero convencionales los cuales arrojó un promedio de esfuerzo de 20,19 MPa por otro lado la densidad promedio de los cubos permaneció estable en $2.29 \text{ (g/cm}^3\text{)}$.



grafica 3.Esfuerzos vs morteros convencionales fallados

Fuente: propia

6.2 Resultados de resistencia a la compresión de cubos de mortero con sustitución del 10 % de residuo óseo

Se realizó pruebas de resistencia a la compresión a 60 cubos de mortero sustituyendo un 10% de agrado fino por de residuo óseo de res, para ser fallados a los (7, 14 y 28) días de curado, arrojaron en promedio una óptima resistencia, teniendo en cuenta el diseño de mezcla y las resistencias de los cubos convencionales fallados, se consideró mediante los resultados obtenidos un aumentando de 9% en la resistencia final.

6.2.1 Resistencia de cubos de morteros a los 7 días de curado

Tabla 18. Resistencia de cubos de morteros a los 7 días de curado

N° cubo	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Peso (g)	Volumen (mm ³)	Densidad (g/ mm ³)
1	38,45	15,38	280	125	2,24
2	30,15	12,06	278	125	2,22
3	29,67	11,87	279	125	2,23
4	29,3	11,72	280	125	2,24
5	34,56	13,82	281	125	2,24
6	29,15	11,66	279	125	2,23
7	34,27	13,71	284	125	2,27
8	33,45	13,38	281	125	2,25
9	31,6	12,64	281	125	2,25
10	38,05	15,22	281	125	2,24
11	31,15	12,46	285	125	2,28
12	29,87	11,95	282	125	2,25
13	33,18	13,27	280	125	2,24
14	41,99	16,79	278	125	2,22
15	28,5	11,4	275	125	2,2
16	35,51	14,20	285	125	2,28
17	33,7	13,48	277	125	2,21
18	36,43	14,57	280	125	2,24
19	31,55	12,62	282	125	2,25
20	33,1	13,24	278	125	2,22
Promedio	33,18	13,27	280,35	125	2,24
σ	3,49	1,39	2,49	0	0,02
C.V.	10,52	10,51	0,89	0	0,91

Fuente: propia

En la tabla 19 se muestran los datos recopilados de la prueba a compresión incorporando un 10% de residuo óseo seco, fallado a los 7 días de curado.

Los resultados obtenidos arrojaron un promedio de esfuerzo de 33,18 MPa y un promedio de 2,24 (g/cm^3) de densidad. Se evidencio que los resultados de los 20 morteros fallados a los 7 días de curado disminuyo un 7% en promedio de resistencia, teniendo en cuenta los datos que se obtuvieron de los morteros de control fallados también a 7 días, la densidad de estos cubos con 10 % de residuo es menor en un 1.4% en comparación con los cubos de control a 7 días.

6.2.2 Resistencia de cubos de morteros a los 14 días de curado

Tabla 19. Resistencia de cubos de morteros a los 14 días de curado

N° cubo	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	40,58	16,23	279	125	2,23
2	48,61	19,44	276	125	2,20
3	52,14	20,86	285	125	2,28
4	50,45	20,18	276	125	2,20
5	45,94	18,38	280	125	2,24
6	45,66	18,26	278	125	2,22
7	47,21	18,88	282	125	2,25
8	47,35	18,94	280	125	2,24
9	47,21	18,88	277	125	2,21
10	46,08	18,43	281	125	2,24
11	48,75	19,50	289	125	2,31
12	44,25	17,70	278	125	2,22
13	51,15	20,46	274	125	2,19
14	52,98	21,19	284	125	2,27
15	56,08	22,43	282	125	2,26
16	49,04	19,62	279	125	2,24
17	45,66	18,26	281	125	2,25
18	52,56	21,02	277	125	2,22
19	58,61	23,44	279	125	2,23
20	50,45	20,18	280	125	2,24
Promedio	49,04	19,62	279,89	125	2,24
σ	4,08	1,67	3,38	0	0,03
C.V.	8,32	8,53	1,21	0	1,26

Fuente: propia

En la tabla 20 se muestran los datos recopilados de la prueba a compresión incorporando un 10% de residuo óseo seco de res como sustituto de arena fallados a los 14 días de curado.

Los resultados obtenidos arrojó un promedio de esfuerzo de 49,04 MPa y un promedio de 2,24 (g/cm^3) de densidad. Se determinó que los resultados de los 20 morteros fallados a los 14 días de curado aumento un 7% en promedio de resistencia, teniendo en cuenta los datos que se obtuvieron de los morteros de control fallados también a 14 días, la densidad de estos cubos con 10 % de residuo óseo es menor en un 2,2% en comparación con los cubos de control a 7 días.

6.2.3 Resistencia de cubos de morteros a los 28 días de curado

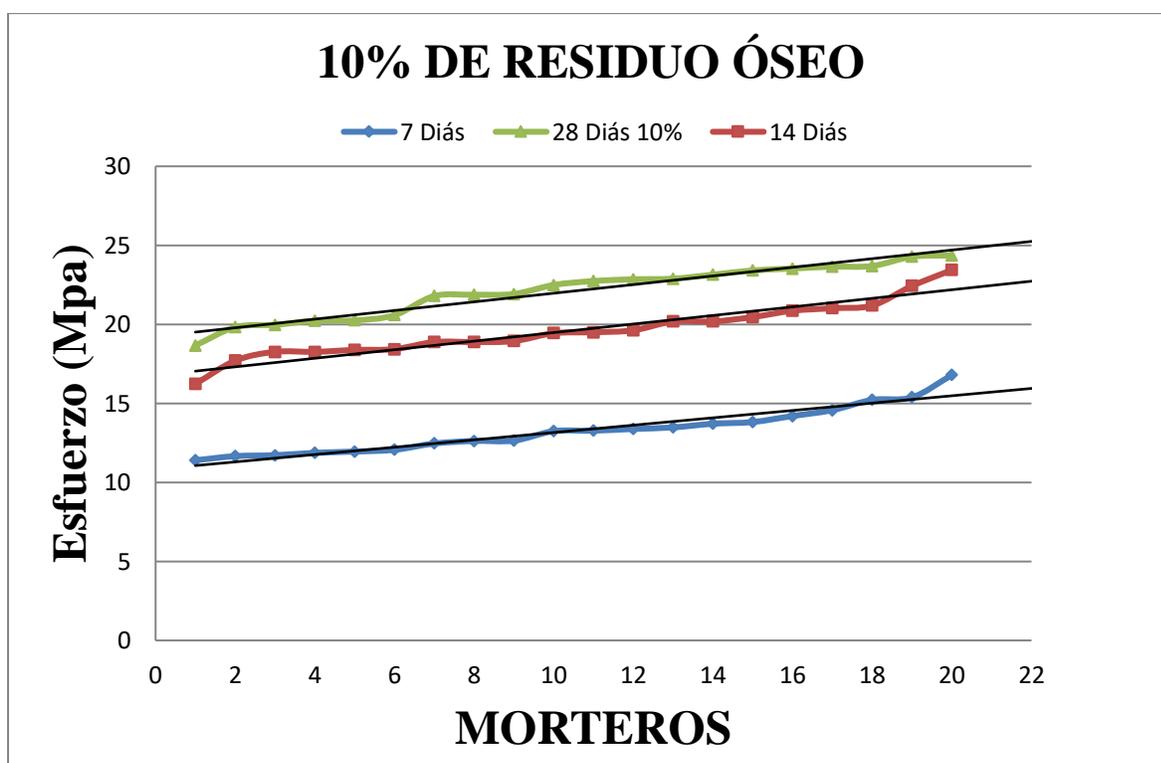
Tabla 20. Resistencia de cubos de morteros a los 28 días de curado

N° cubo	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	50,63	20,25	282	125	2,26
2	56,85	22,74	283	125	2,26
3	60,90	24,36	282	125	2,26
4	57,85	23,14	286	125	2,28
5	57,23	22,89	279	125	2,23
6	49,55	19,82	278	125	2,22
7	50,58	20,23	288	125	2,30
8	54,48	21,79	288	125	2,30
9	59,13	23,65	287	125	2,29
10	54,80	21,92	288	125	2,20
11	56,23	22,49	286	125	2,28
12	46,65	18,66	283	125	2,26
13	49,93	19,97	279	125	2,23
14	58,83	23,53	277	125	2,21
15	57,13	22,85	287	125	2,29
16	60,70	24,28	277	125	2,21
17	54,68	21,87	283	125	2,26
18	59,23	23,69	285	125	2,28
19	51,45	20,58	287	125	2,29
20	58,53	23,41	283	125	2,26
Promedio	55,27	22,106	283,68	125	2,26
σ	4,05	1,62	3,69	0	0,03
C.V.	7,32	7,32	1,30	0	1,37

Fuente: propia

En la tabla 21 se muestran los datos recopilados de la prueba a compresión incorporando un 10% de residuo óseo seco de res como sustituto de arena fallados a los 28 días de curado.

La grafica 4 representa los resultados de la prueba a compresión incorporando un 10% de residuo óseo seco de res como sustituto de arena, fallados a los (7, 14 y 28) días de curado. En el cual se evidencio en la resistencia promedio a 28 días de curado.



grafica 4 Esfuerzos vs morteros con el 10% de residuo óseo fallados

Fuente: propia

6.3 Resultados de resistencia a la compresión de cubos de mortero con sustitución del 15 % de residuo óseo.

Se realizó pruebas de resistencia a la compresión a 60 cubos de mortero agregando un 15% de residuo óseo de res, para ser fallados a los (7, 14 y 28) días de curado, observando una disminución de la resistencia de 9% a los 7 primeros días de curado, pero un aumento de 3% y 6% de resistencia en los cubos a 14 y 28 días respectivamente teniendo como referencia los resultados de las pruebas a compresión a 28 días de los morteros de control, Los resultados muestran también un aumento en la resistencia de diseño en un 22 %.

6.3.1 Resistencia de cubos de morteros a los 7 días de curado

Tabla 21. Resistencia de cubos de morteros a los 7 días de curado

N° cubo	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	30,31	12,12	274	125	2,19
2	33,96	13,58	282	125	2,25
3	28,6	11,44	274	125	2,19
4	35,18	14,07	272	125	2,17
5	29,89	11,96	277	125	2,21
6	36,21	14,48	296	125	2,36
7	29,93	11,97	273	125	2,18
8	33,82	13,53	275	125	2,2
9	34,46	13,78	281	125	2,24
10	32,56	13,02	280	125	2,24
11	32,05	12,81	277	125	2,21
12	30,84	12,34	271	125	2,16
13	29,45	11,78	273	125	2,18
14	34,31	13,72	273	125	2,18
15	30,33	12,13	280	125	2,24
16	27,67	11,06	278	125	2,22
17	35,16	14,06	275	125	2,2
18	32,56	13,02	277	125	2,21
19	34,27	13,70	274	125	2,19
20	30,43	12,172	273	125	2,18
Promedio	32,07	12,83	276,74	125	2,21
σ	2,42	0,97	5,38	0	0,04
C.V.	7,54	7,53	1,95	0	1,92

Fuente: propia

En la tabla 22 se muestran los datos recopilados de la prueba a compresión incorporando un 15% de residuo óseo seco de res como sustituto de arena fallados a los 7 días de curado.

Los resultados obtenidos de resistencia a la compresión arrojó un promedio de esfuerzo de 32,07 MPa y un promedio de 2,21 (g/cm^3) de densidad. Se determinó que los resultados de los 20 morteros fallados a los 7 días de curado disminuyeron un 9% en promedio de resistencia, teniendo en cuenta los datos que se obtuvieron de los morteros de control fallados también a 7 días, la densidad de estos cubos con 15 % de residuo óseo fue menor suponiéndose por tener mayor cantidad de residuo óseo de res en la mezcla.

6.3.2 Resistencia de cubos de morteros a los 14 días de curado

Tabla 22. Resistencia de cubos de morteros a los 14 días de curado

N° cubo	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (cm ³)
1	49,18	19,67	275	125	2,20
2	50,87	20,35	281	125	2,24
3	51,43	20,57	288	125	2,30
4	51,29	20,52	278	125	2,22
5	43,82	17,53	290	125	2,32
6	41,29	16,52	274	125	2,19
7	46,08	18,43	274	125	2,19
8	47,29	18,92	272	125	2,17
9	46,5	18,60	273	125	2,18
10	47,21	18,88	278	125	2,22
11	45,66	18,26	275	125	2,2
12	50,01	20	276	125	2,21
13	47,10	18,83	278	125	2,22
14	46,23	18,49	276	125	2,21
15	41,99	16,79	280	125	2,24
16	49,32	19,72	281	125	2,25
17	45,37	18,14	278	125	2,22
18	46,90	18,76	280	125	2,24
19	50,54	20,22	279	125	2,23
20	44,13	17,65	277	125	2,22
Promedio	47,11	18,84	278,15	125	2,22
σ	2,89	1,16	4,42	0	0,04
C.V.	6,13	6,13	1,59	0	1,60

Fuente: propia

En la tabla 23 se muestran los datos recopilados de la prueba a compresión incorporando un 15% de residuo óseo seco de res como sustituto de arena fallados a los 14 días de curado.

Los resultados obtenidos de resistencia a la compresión arrojó un promedio de esfuerzo de 18,84 MPa y un promedio de 2,21 (g/cm^3) de densidad. Se determinó que los resultados de los 20 morteros fallados a los 14 días de curado aumento un 3% en promedio de resistencia, teniendo en cuenta los datos que se obtuvieron de los morteros de control fallados también a 14 días, la densidad de estos cubos con 15 % de residuo óseo aumento muy poco suponiéndose por tener mayor tiempo sumergido en agua.

6.3.3 Resistencia de cubos de morteros a los 28 días de curado

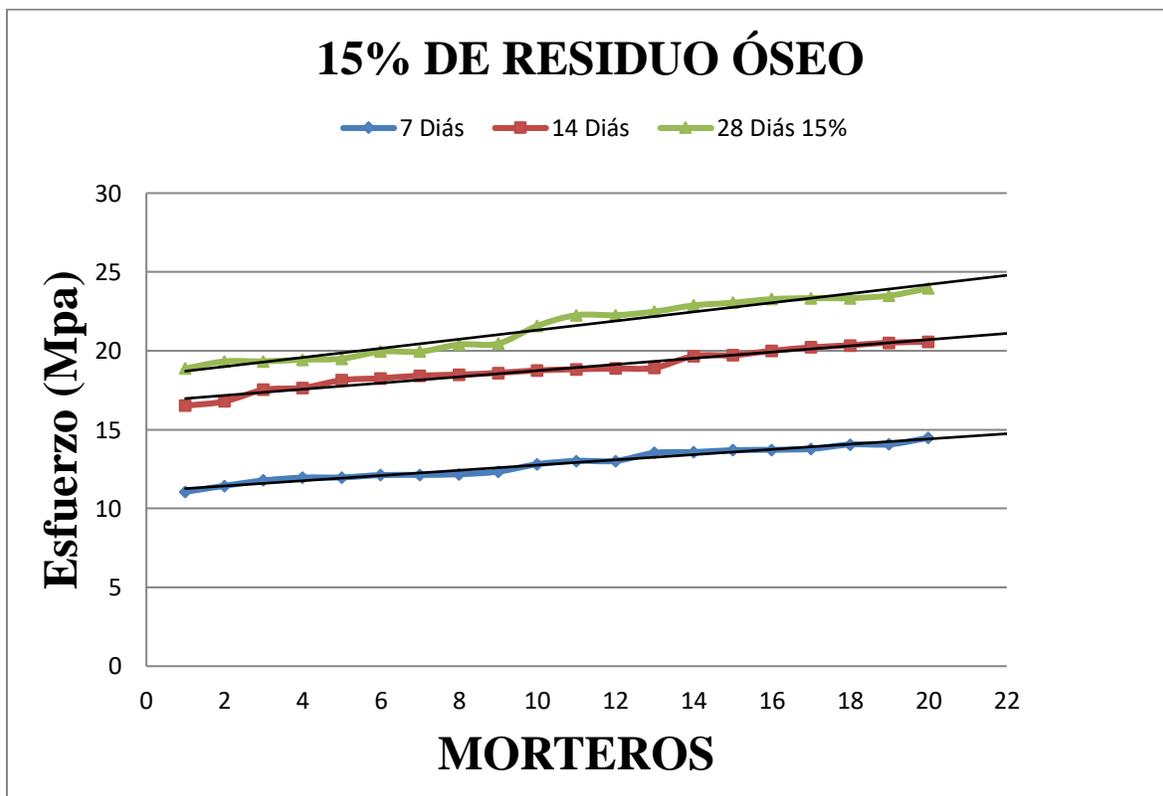
Tabla 23. Resistencia de cubos de morteros a los 28 días de curado

N° cubo	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	56,22	22,49	279	125	2,23
2	48,61	19,44	288	125	2,30
3	51,15	20,46	277	125	2,21
4	58,34	23,34	288	125	2,30
5	55,66	22,26	282	125	2,25
6	58,2	23,28	278	125	2,22
7	55,66	22,26	274	125	2,19
8	59,89	23,96	276	125	2,20
9	57,21	22,88	274	125	2,19
10	53,97	21,59	273	125	2,18
11	58,76	23,50	278	125	2,22
12	51,01	20,40	278	125	2,22
13	53,38	23,34	279	125	2,23
14	49,88	19,952	285	125	2,28
15	49,88	19,952	278	125	2,22
16	57,63	23,052	275	125	2,20
17	48,33	19,332	287	125	2,30
18	48,75	19,5	279	125	2,23
19	47,21	18,884	281	125	2,25
20	48,33	19,332	277	125	2,22
Promedio	53,40	21,36	279,35	125	2,23
σ	4,12	1,70	4,45	0	0,04
C.V.	7,71	7,97	1,59	0	1,63

Fuente: propia

En la tabla 24 se muestran los datos recopilados de la prueba a compresión incorporando un 15% de residuo óseo seco de res como sustituto de arena fallados a los 28 días de curado.

La grafica 5 representa los resultados de la prueba a compresión los cuales arrojo un promedio de esfuerzo de 53,40 MPa y un promedio de 2,23 (g/cm^3) de densidad. Se determinó que los resultados de los 20 morteros fallados a los 28 días de curado aumento un 6% en promedio de resistencia, teniendo en cuenta los datos que se obtuvieron de los morteros de control fallados también a 28 días, la densidad de estos cubos con 15 % de residuo óseo también aumento muy poco suponiéndose por tener mayor tiempo sumergido en agua.

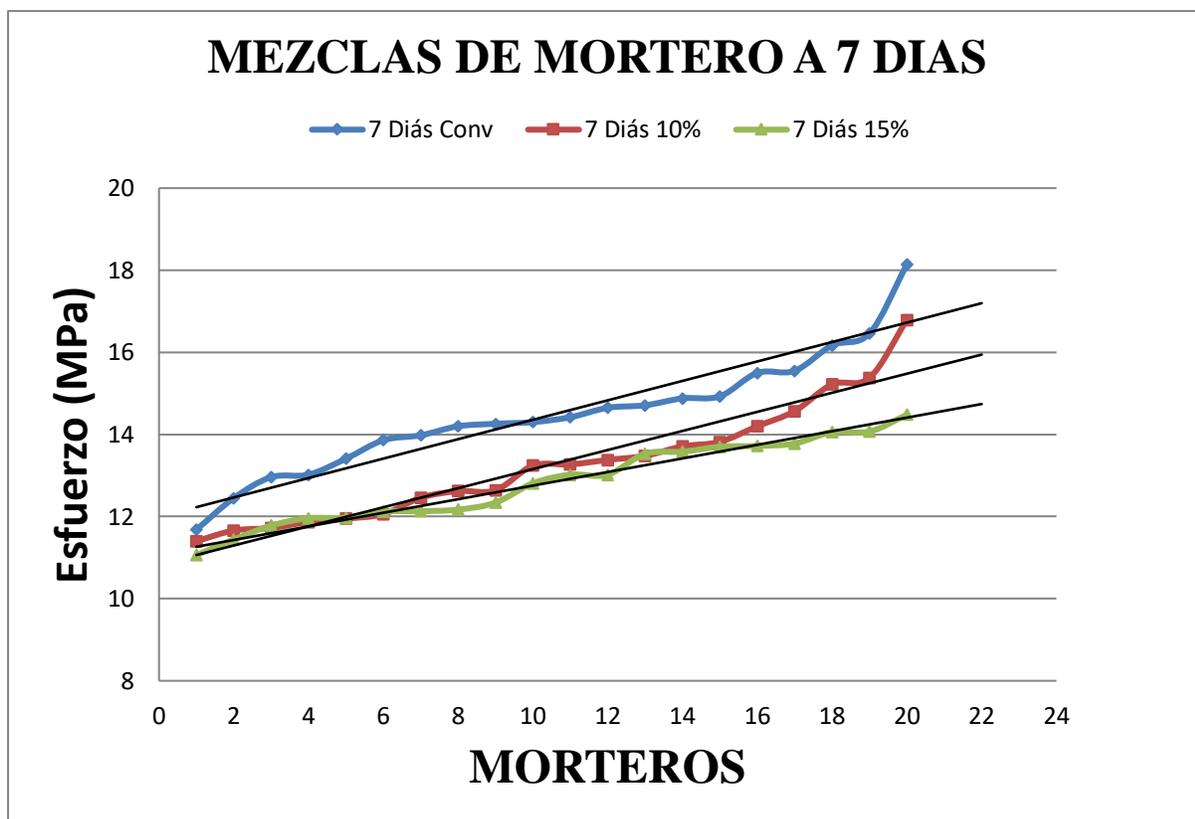


grafica 5. Esfuerzos vs morteros con el 15% de residuo óseo fallados.

Fuente: propia

6.3.4 Grafica que representa los resultados de resistencia de cubos fallados a 7, 14 y 28 días de curado.

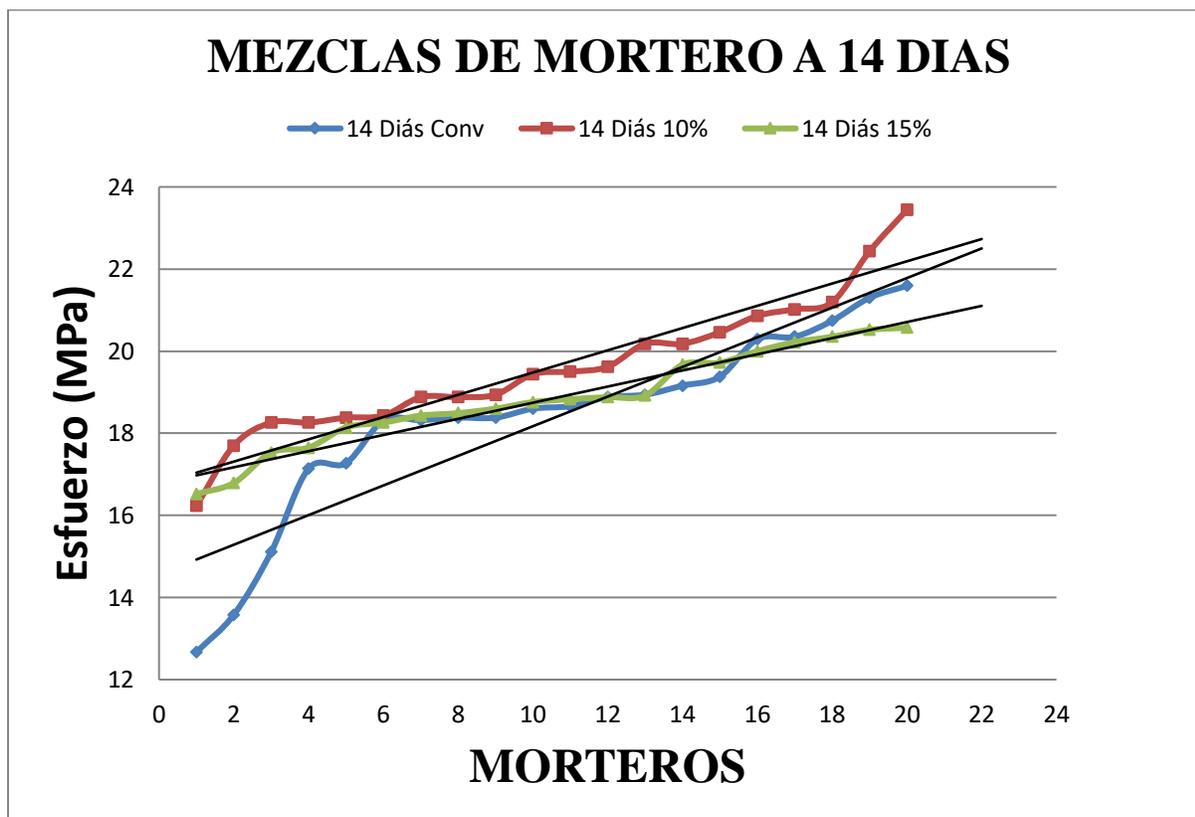
En la gráfica 6 se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de mortero convencionales y morteros con el 10% y 15% de residuo óseo seco de res fallados a los 7 días de curado, evidenciándose un aumento de la resistencia en cubos convencionales comparados con los otros morteros ensayados, y se ve reflejado que los cubos de mortero con 15% de material orgánico tienen menor resistencia comparados con los demás morteros ensayados a los mismos días de fraguado (7 días)



grafica 6. Resultados de las mezclas de mortero fallados a 7 días de curado.

Fuente: propia

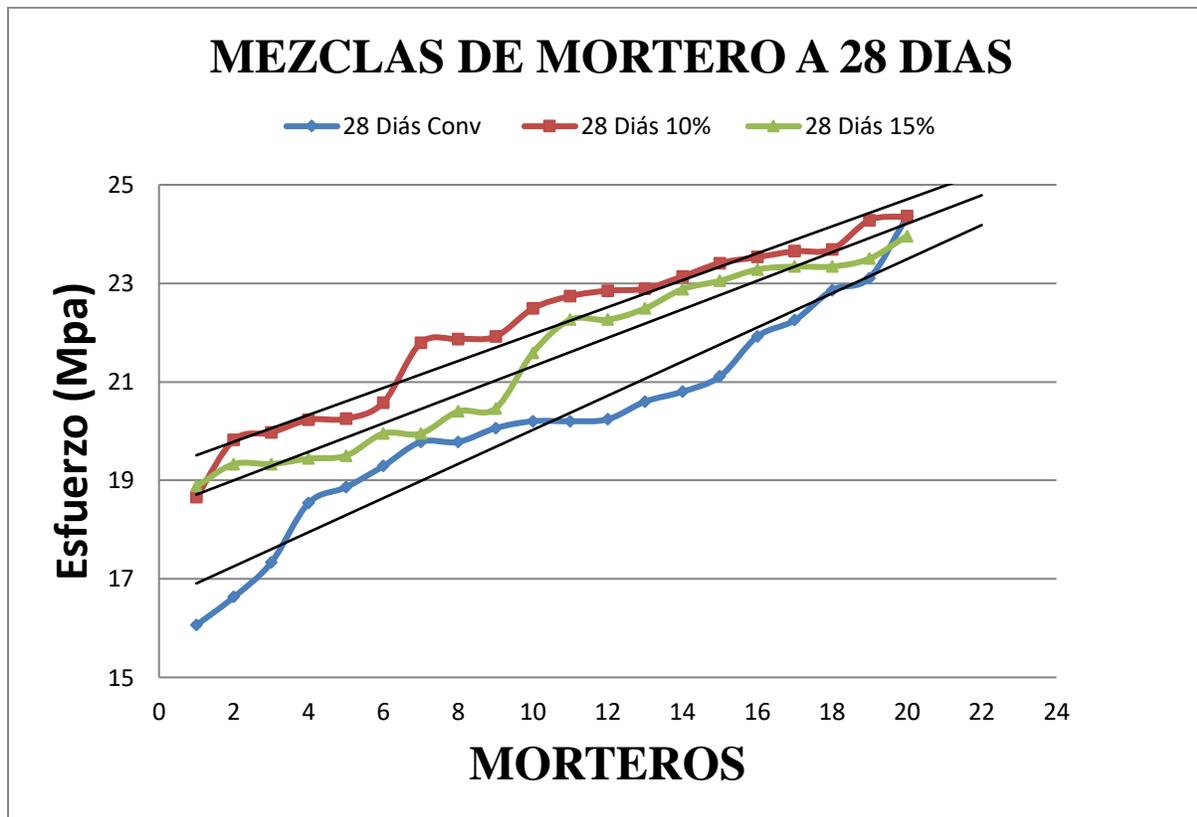
En la gráfica 7 se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de mortero convencionales y morteros con el 10% y 15% de residuo óseo seco de res fallados a los 14 días de curado, evidenciándose un aumento de la resistencia en cubos de morteros con el 10% de residuo óseo de res, comparados con los otros morteros ensayados, y se ve reflejado que los cubos de mortero convencionales tienen menor resistencia comparados con los demás morteros ensayados a los mismos días de fraguado (14 días).



gráfica 7. Resultados de las mezclas de mortero fallados a 14 días de curado.

Fuente: propia

En la gráfica 8 se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de mortero convencionales y morteros con el 10% y 15% de residuo óseo seco de res fallados a los 28 días de curado, evidenciándose un aumento de la resistencia en cubos de morteros con el 10% de residuo óseo de res, comparados con los otros morteros ensayados, y se ve reflejado que los cubos de mortero convencionales tienen menor resistencia comparados con los demás morteros ensayados a los mismos días de fraguado (28 días).



gráfica 8. Resultados de las mezclas de mortero fallados a 28 días de curado.

Fuente: propia

6.3.5 Graficas que representan el esfuerzo promedio las diferentes mezclas de mortero fallados a 7, 14 y 28 días de curado.

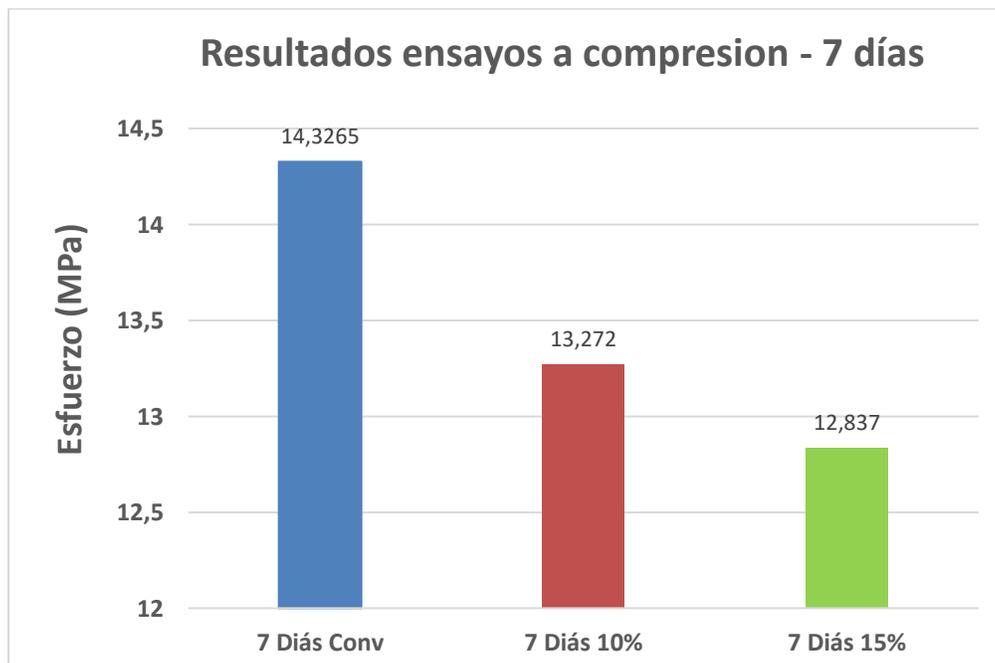
A continuación, se muestran las tablas con sus respectivas graficas las cuales muestra una comparación de los resultados promedio de esfuerzo en MPa de las mezclas de mortero convencional, con el 10% y 15% de residuo óseo incorporado, realizando el respectivo ensayo de resistencia a la compresión para 7, 14 y 28 días de curado.

Tabla 24. Promedio resistencia de las mezclas de mortero fallados a los 7 días de curado

7 Días Conv.	7 Días 10%	7 Días 15%
14,33 (MPa)	13,27(MPa)	12,84(MPa)

Fuente: propia

La tabla 25, muestra los resultados promedio de resistencia a la compresión de las mezclas de mortero fallados a los 7 días de curado en unidades de esfuerzo (MPa)



grafica 9. Resultados promedio ensayos a compresión - 7 días

Fuente: propia

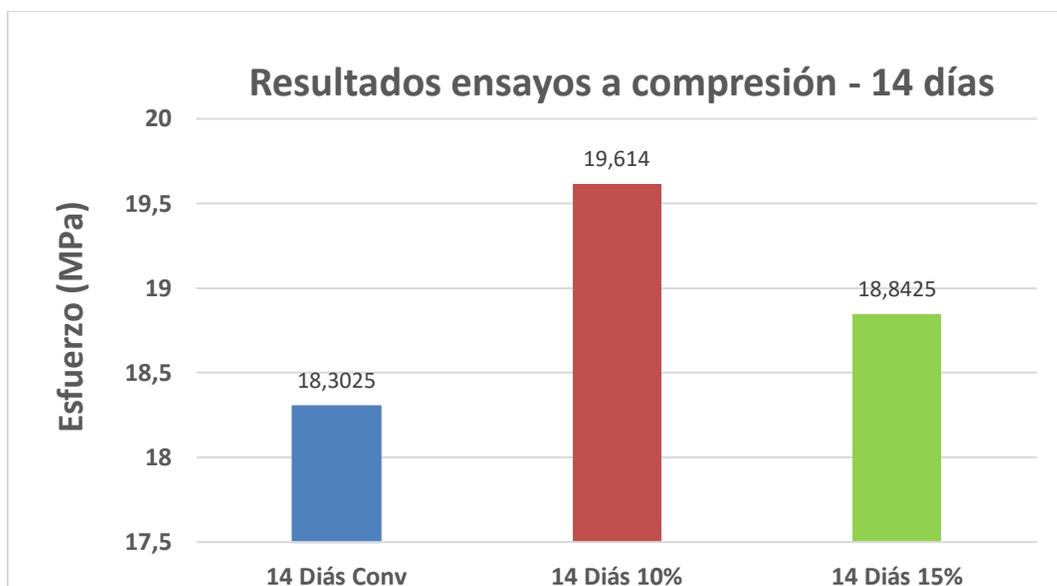
La grafica 9 representa los resultados promedio de resistencia de las diferentes mezclas de mortero, fallados a los 7 días de curado. Teniendo como referencia los morteros convencionales, el esfuerzo aumento un 1,06 MPa de esfuerzo (7,39%) en comparación con los cubos de 10% y también aumento un 1,49 MPa (10,3%) en comparación con morteros de 15% de residuo óseo

Tabla 25. Promedio resistencia de las mezclas de mortero fallados a los 14 días de curado

14 Días Conv.	14 Días 10%	14 Días 15%
18,30 (MPa)	19,61(MPa)	18,84(MPa)

Fuente. Propia

La tabla 26, muestra los resultados promedio de resistencia a la compresión de las mezclas de mortero fallados a los 14 días de curado en unidades de esfuerzo (MPa)



grafica 10.Resultados promedio ensayos a compresión - 14 días

Fuente: propia

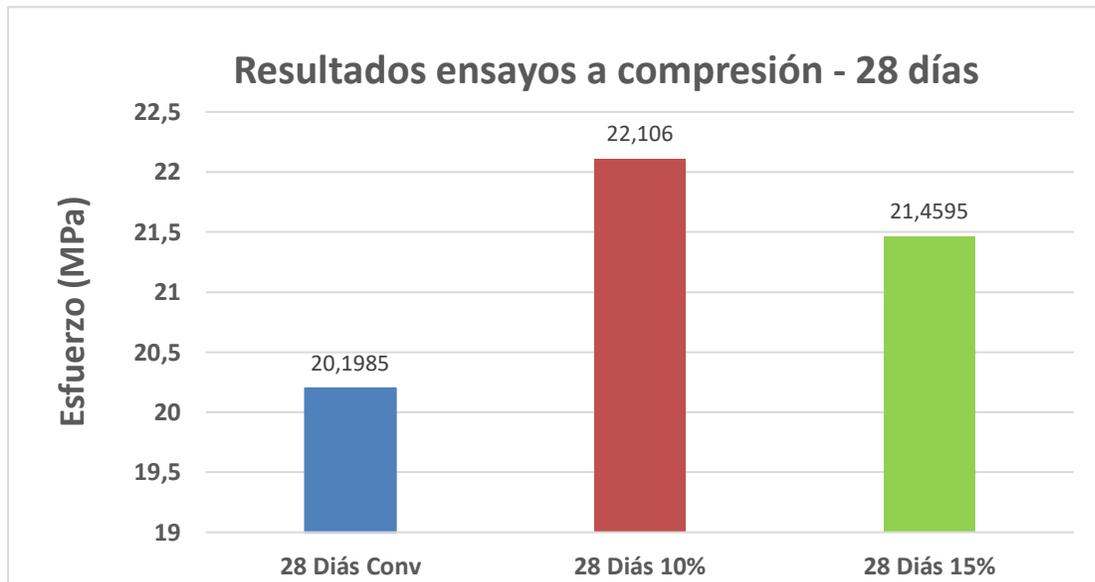
La grafica 10 representa a través de un diagrama de barras los resultados promedio de resistencia de las diferentes mezclas de mortero, fallados a los 14 días de curado. Teniendo como referencia los morteros con 10% de residuo óseo de res, el esfuerzo aumento un 1,31 MPa de esfuerzo (6,68%) en comparación con los cubos convencionales y también aumento un 0,77 MPa (3,94%) en comparación con morteros de 15% de residuo óseo incorporado

Tabla 26 Promedio resistencia de las mezclas de mortero fallados a los 7 días de curado

14 Días Conv.	14 Días 10%	14 Días 15%
20,20(MPa)	22,11(MPa)	21,46(MPa)

Fuente: propia

La tabla 27, muestra los resultados promedio de resistencia a la compresión de las mezclas de mortero dallados a los 28 días de curado en unidades de esfuerzo (MPa)



grafica 11. Resultados promedio ensayos a compresión - 28 días

Fuente: propia

La grafica 11 representa a través de un diagrama de barras los resultados promedio de resistencia de las diferentes mezclas de mortero, fallados a los 28 días de curado. Teniendo como referencia los morteros con 10% de residuo óseo de res, el esfuerzo aumento un 1,92 MPa de esfuerzo (9,50%) en comparación con los cubos convencionales y también aumento un 0,66 MPa (2,96%) en comparación con morteros de 15% de residuo óseo incorporado.

6.4. Análisis estadístico.

El análisis estadístico como el diagrama de caja o box plot, realizados a los datos obtenidos de la resistencia final (28 días) de las mezclas de mortero, permitieron ver que en los resultados no se encuentran en gran proporción datos atípicos, los cuales se eliminan para que el análisis sea consistente ya que los datos se encuentran más agrupados a su mediana.

6.4.1 Coeficiente de variación.

El coeficiente de variación para cada uno de las mezclas se realizó, con los datos recopilados de los morteros fallados a 28 días de curado, teniendo en cuenta los datos obtenidos de esfuerzo en MPa.

Coeficiente de variación	
Convencionales	9,86 MPa
10% de residuo óseo	7,32 MPa
15% de residuo óseo	7,97 MPa

Tabla27. Valores estadísticos a morteros fallados a los 28 días

Fuente: propia

En la tabla 24 muestra el coeficiente de variación de la resistencia final de cada mortero fallado a los 28 días; de los siguientes datos se puede evidenciar que los morteros convencionales tienen un coeficiente de variación mayor que los morteros con sustitución del 10 % de residuo óseo y los morteros con sustitución de 15% de residuo óseo; puesto que sus valores son una medida estadística que indica qué tan grande es la desviación estándar en relación a la media.

6.4.2 La desviación típica o desviación estándar.

La desviación estándar para cada uno de las mezclas se realizó, con los datos recopilados de los morteros fallados a 28 días de curado, teniendo en cuenta los datos obtenidos de esfuerzo en MPa.

Desviación estándar	
Convencionales	2,01 MPa
10% de residuo óseo	1,62 MPa
15% de residuo óseo	1,70 MPa

Tabla28. Valores estadísticos a morteros fallados a los 28 días

Fuente: propia

En la tabla 25 muestra la desviación estándar de la resistencia final de cada mortero fallado a los 28 días; de los siguientes datos se puede evidenciar que los morteros convencionales tienen una desviación mayor que los morteros con sustitución del 10 % de residuo óseo y los morteros con sustitución de 15% de residuo óseo; puesto que sus valores están alejados de la media aritmética.

6.4.3 Media aritmética.

La media aritmética para cada uno de las mezclas se realizó, con los datos recopilados de los morteros fallados a 28 días de curado, teniendo en cuenta los datos obtenidos de esfuerzo en MPa.

Tabla 29. Valores estadísticos a morteros fallados a los 28 días.

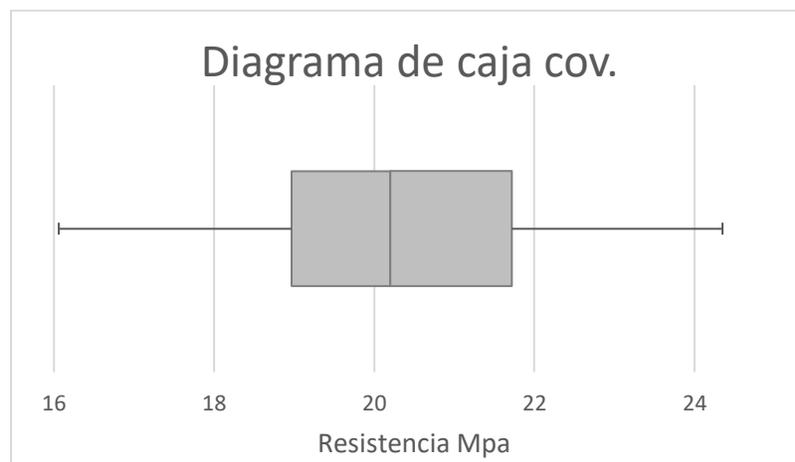
Medias aritméticas	
Convencionales	19,98 MPa
10% de residuo óseo	21,98 MPa
15% de residuo óseo	21,32 MPa

Fuente: propia

En la tabla 26 muestra los valores promedios de resistencia de cada mortero fallado a los 28 días; de los siguientes datos se puede evidenciar que los morteros con sustitución del 10 % de residuo óseo tienen en promedio mayor resistencia que los morteros convencionales y los morteros con sustitución de 15% de residuo óseo.

6.4.4 Diagrama de caja.

- Diagrama de caja o box plot realizados a los morteros convencionales a 28 días de curado

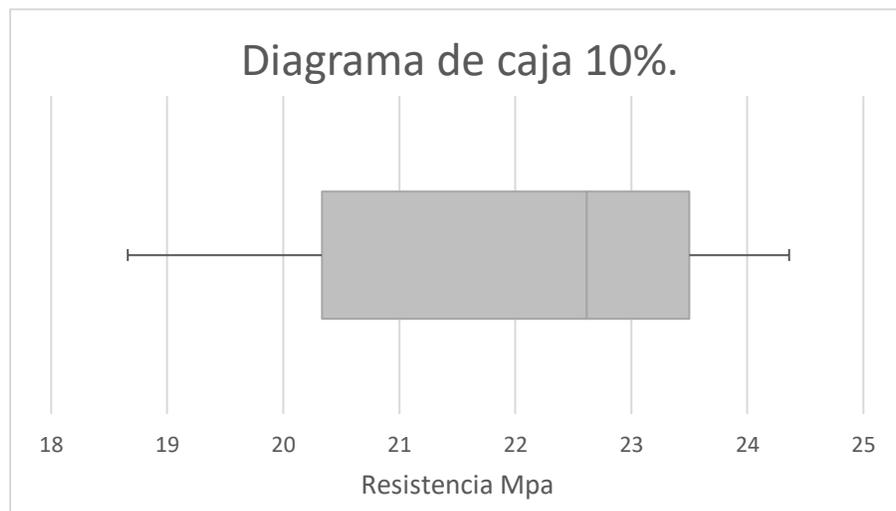


grafica 12. Diagrama de caja convencional

Fuente: propia

En la gráfica 7 muestra el diagrama de caja, realizado a los datos de los morteros convencionales a los 28 días de curado; estos resultados no evidencian datos atípicos de resistencia.

- Diagrama de caja o box plot realizados a los morteros con 10% de residuo óseo seco de res a los 28 días de curado.

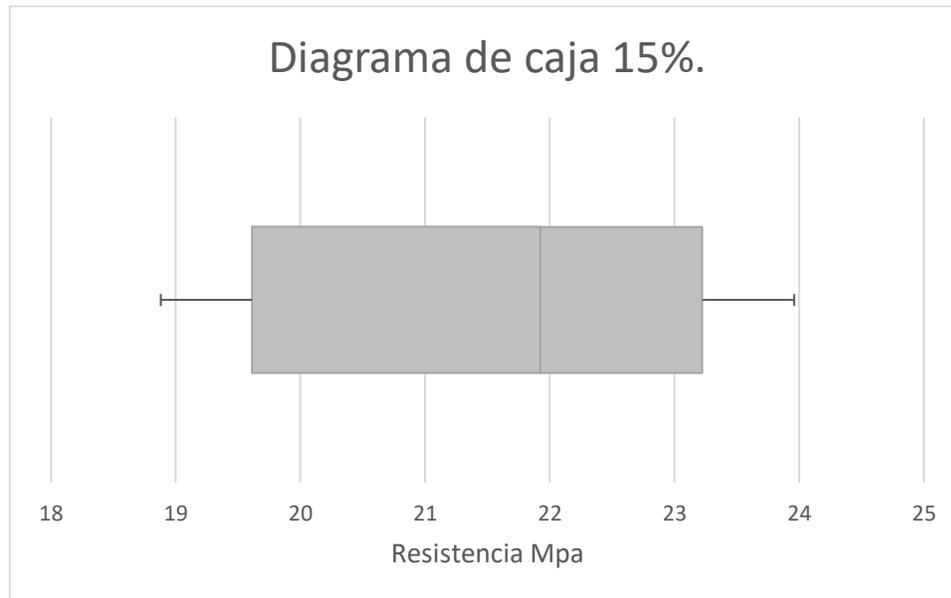


grafica 13. Diagrama de caja del 10 % de material óseo

Fuente: propia

En la gráfica 8 muestra el diagrama de caja, realizado a los datos de los morteros con 10% de residuo óseo seco de res a los 28 días de curado; estos resultados no se evidencian datos atípicos de resistencia.

- Diagramas de caja o box plot realizado a morteros con 15% de residuo óseo seco de res a los 28 días de curado



gráfica 14. Diagrama de caja 15% de material óseo

Fuente: propia

En la gráfica 9 muestra el diagrama de caja, realizado a los datos de los morteros con 10% de residuo óseo seco de res a los 28 días de curado; estos resultados no evidencian datos atípicos de resistencia.

7. Conclusiones.

El seguimiento continuo que se realizó al residuo óseo de res mediante su respectivo proceso de secado térmico, por medio de la exposición al sol, permitió analizar que la humedad genera un deterioro considerable al material orgánico especialmente en periodos de lluvia.

El proceso de caracterización del residuo óseo de res, es necesario para realizar el respectivo diseño de mortero; determinando que la densidad del residuo óseo de res ($2,135 \text{ g/cm}^3$), es menor a la de la arena ($2,66 \text{ g/cm}^3$), un 24 %.

Los ensayos de humedad realizados a la arena (0,89%) y al residuo óseo de res (5,08%), muestran que el material orgánico absorbe agua en una mayor proporción, en comparación con la arena siendo la diferencia de 4,19 %.

Se concluyó que los porcentajes de residuo óseo de res incorporados (10% y 15%) en la mezcla de mortero, produjo una reducción en el peso de los cubos de mortero, en comparación con los cubos convencionales, evidenciando un aligeramiento del 1,8% y 3,4% respectivamente en los morteros donde se incorporó material orgánico.

Los morteros a los cuales se incorporó material óseo al en la mezcla como sustituto de agregado fino, revelaron que: a los 7 días de curado disminuyó la resistencia 7% con sustitución

del 10% y disminuyo el 9% de la resistencia cuando se sustituyó el 15% del residuo óseo seco de res. Pero se obtuvo un aumento de la resistencia a la compresión pasados 14 días de fraguado un 7% (sustitución 10%) y un 3% (sustitución 15%), y la resistencia a la compresión pasados 28 días de fraguado con sustitución del 10% y 15% de arena por residuo óseo seco de res, presento un aumento de 9,5% y 6% respectivamente.

8. Recomendaciones.

El residuo óseo de res es un material orgánico que se ve afectado principalmente por la humedad en su proceso de secado, por esta razón se aconseja proteger este material, trasladándolo a un lugar para resguardarlo de las aguas lluvia.

Se recomienda mezclar primero la arena con el cemento y a continuación incorporar el residuo óseo seco de res, estando este material saturado superficialmente seco (S.S.S.)

Según los resultados obtenidos sustituyendo 10% y 15% de agregado fino por residuo óseo de res, Se recomienda aumentar el porcentaje de residuo óseo seco de res como sustitución para ampliar la investigación hasta aquí realizada.

Teniendo cuenta la investigación y los análisis realizados en este proyecto, se sugiere investigar el reemplazo de agregado grueso por residuo óseo seco de res, variando los porcentajes de adición.

Referencias Bibliográficas

(E218-07), I. N. (2013). *RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE A MAQUINA DE LOS ANGELES.*

1984, d. 1. (s.f.). *código colombiano de construcciones sismo resistentes capitulos C.3,C.4y C.5.* Bogotá (colombia).

Arangot., J. H. (s.f.). *MÉTODO PRACTICO PARA DOSIFICAR MECLAS DE CONCRETO . COLOMBIA :* 1977.

Arenas Díaz, J. F. (2012). *Evaluación del comportamiento mecánico de morteros modificados con ceniza de locaciones petroleras.* bucaramanga.

BARRETO, A., SEBASTIÁN, J., ARIAS, E., & BAWINN, J. (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.* Bogota: UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.

Bouzas, A. (2002). *Degradacion de hueso.*

Colombiana, N. T. (2004). Tiempo de fraguado NTC 118 . En NTC, *Norma Tcnica Colombiana .*

Colombiana, N. T. (2013). Finura de Blaine NTC 33. En NTC, *Norma Tecnica Colombiana .*

Colombiana, N. T. (2013). Método para la determinar la consistencia normal del cemento hidraulico NTC 110. En NTC.

estadísticos, g. t. (21 de 10 de 2018). <https://glosarios.servidor-alicante.com>.

estadísticos, g. t. (21 de 10 de 2018). <https://glosarios.servidor-alicante.com>.

estadísticos, G. t. (16 de 04 de 2019). *Valor mayor o igual a cero que mide la dispersión de una característica de los individuos alrededor de la media del grupo. Los sujetos serán más parecidos u homogéneos entre sí cuanto más próxima a cero esté la desviación típica. Su unidad de medida coinc.*

Esther Rincon, A. R. (2004). caracterización mecánica del material óseo . *Tecnología y desarrollo.*

FERNANDEZ.R.;; C. (1987). *ANALISI DE AGREGADOS DE MEZCLAS DE CONCRETO .*

- Figuroa, F., & Sánchez, M. (1997). *FAO. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. roma.*
- formulas, U. d. (2019). <https://www.universoformulas.com/estadistica/descriptiva/diagrama-caja/>.
- GALLEGOH.H, & URIEL. (1986). *MEMORIAS SEMIANRIO SOBRE MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL .* Universidad del cauca.
- Humberto, J., & Arango T. (1997). *método practico para la dosificación de morteto .* meddellin (colombia).
- ICPC, & SOLINGRAL. (s.f.). *MANUAL DE DOSISIFICACION DE MEZCLAS DE CONCRETO .* MEDELLIN (COLOMBIA): 1974.
- INCONTEC. (1989). *NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION.* BOGOTA (COLOMBIA).
- INVIAS, I. N. (2005). Densidad bulk (peso unitario) y porcentaje de vacios en estado suelto y compacto I.N.V.E 217).
- INVIAS, I. N. (2006). Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo- agregado I.N.V.E 122.
- INVIAS, I. N. (2007). Análisis granulometrico de agregados finos y gruesos inve 213 . En *INVIAS .*
- INVIAS, I. N. (2007). Contenido aproximado de materia orgánicaen arenas usadas en preparación de morteros o concretos I.N.V.E 212. En *INVIAS.*
- INVIAS, I. N. (2007). Densidad del cemento hidráulicoI.N.V.E. 307- 07. En *INVIAS, Instituto Nacional de vias INVIAS.*
- INVIAS, I. N. (2007). Densidad, densidad relativa (gravedad especifica), y absorción del agregado fino I.N.V.E 222. En *INVIAS.*
- INVIAS, I. N. (2013). *INVIAS .*
- INVIAS113, I. N. (s.f.). Equivalente de arena de suelos y agregados finos I.N.V.E 133. En *INVIAS.*
- L., G. A. (s.f.). *dosificacion de morteros .*
- Lopez, L. G. (1983). *Análisis de las características de los agregados para concretos y morteros en Manizales. Trabajo de promoción. .* Manizales : Universidad Nacional de Colombia, Sede.
- MADRID, & A., C. (s.f.). *RESISTENCIA QUE DEBE TENER EL CONCRETO .* MEDELLIN (COLOMBIA).

mancha, U. d.-L. (2018). *Los morteros*.

Maria Garcia, E. M. (2016). *Análisis de la Viabilidad Ambiental de la Utilización de Morteros Fabricados con Polvo de Vidrio en la Estabilización de Suelos*.

Norma, I. E.-3.-0. (s.f.). *RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO*.

NTC, I. (1999). *Norma Técnica colombiana NTC*.

Ortega Sanchez, D. G. (2019). *Estudio del comportamiento mecánico de morteros modificados con aserrín bajo cargas de compresión*.

Perez, L., Cadena, J., & Puentes, S. (2019). *PREELIMINARES DE ANTEPROYECTO DE EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO A COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CONTROL CONVENCIONAL Y MORTEROS CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR RESIDUO OSEO SECO DE RES*. bucaramanga.

Rural, C. d. (s.f.). *MORTEROS*.

salud, d. d. (2019). tejido óseo . En U. d. Vigo, *Atlas de histología vegetal y animal* . España .

Sanchez de Guzan , D. (1987). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO* . BOGOTÁ (colombia): Pontificie Universidad Javeriana .

superprof. (24 de 09 de 2017). <https://www.superprof.es/apuntes/escolar/matematicas/estadistica/descriptiva/media-aritmetica.html>.

Umacon S.A,. (28 de 03 de 2017). *Umacon*. Obtenido de <http://www.umacon.com/noticia.php/es/que-es-el-cemento-portland-tipos-y-caracteristicas/413>

vantadori, s., Carpinteri, A., & Zanichelli A. (s.f.). *INGENIERIA Y ARQUITECTURA UNIVERSIDAD DE PARMA*.

Anexos

Anexo A. Ensayos de la caracterización de los materiales

Granulometría.

ESNAYO #1					Gradación	
Tamiz	Wret	% w ret	%ret Acu	%pasa	Li	Ls
3/8"	0	0,0	0,0	100,0		
N°4	0	0,0	0,0	100,0	95	100
N°8	11	1,1	1,1	98,9	80	100
N°16	190	19,0	20,1	79,9	50	85
N°30	282	28,2	48,3	51,7	25	60
N°50	349	34,9	83,2	16,8	10	30
N°100	95	9,5	92,7	7,3	2	10
FONDO	73					
Total	1000		MF	2,45	Media	

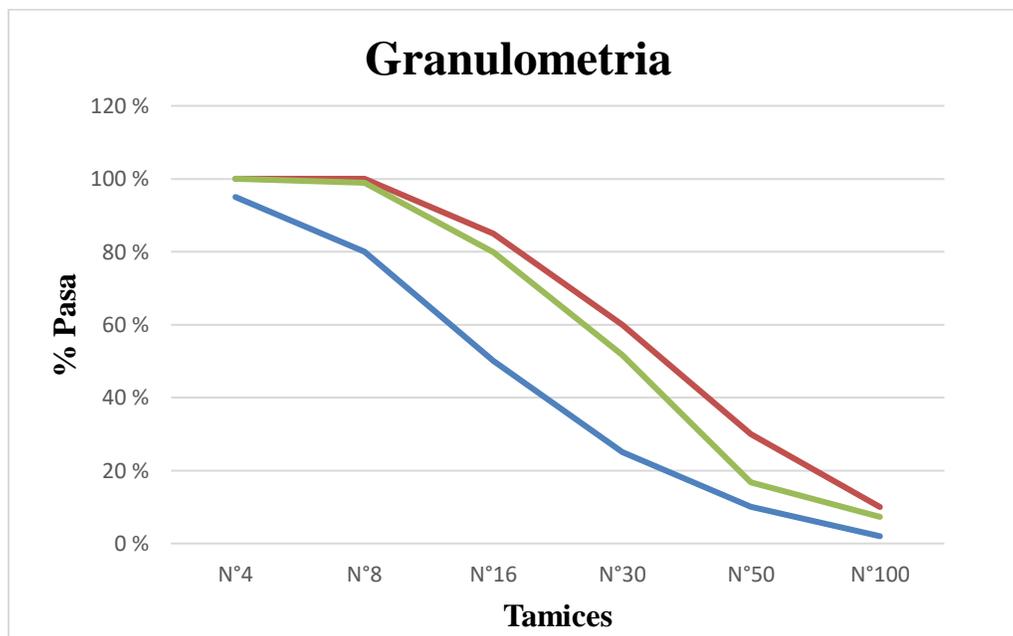
Tabla 30. Primer ensayo de granulometría

Fuente: propia

ESNAYO #2					Gradación	
Tamiz	Wret	% w ret	%ret Acu	%pasa	Li	Ls
3/8"	0	0,0	0,0	100,0		
N°4	0	0,0	0,0	100,0	95	100
N°8	13	1,3	1,3	98,7	80	100
N°16	160	16,0	17,3	82,7	50	85
N°30	257	25,7	43,0	57,0	25	60
N°50	369	36,9	79,9	20,1	10	30
N°100	110	11,0	90,9	9,1	2	10
FONDO	90					
Total	999		MF	2,32	Media	

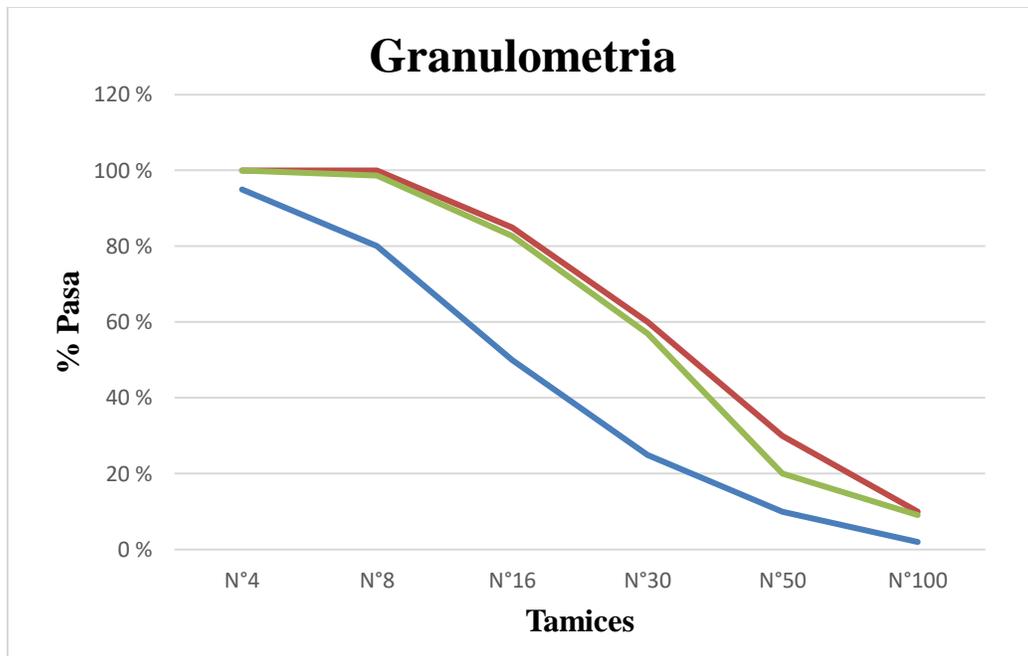
Tabla 31.Segundo ensayo de granulometría

Fuente: propia



grafica 15. Primer ensayo de granulometría

Fuente: propia



grafica 16. Segundo ensayo de granulometría

Fuente: Propia

11.1.2 Densidad bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto (I.N.V.E 217)

Masa Unitaria Suelta.	
	Gramos
Peso del agregado suelto	32438
Peso del cilindro vacío	3067
Arena suelta 1	10747
Arena suelta 2	10878
Arena suelta 3	10813

$$MUS = \frac{\text{Peso del agregado suelto}}{\text{volumen del recipiente}}$$

MUS	6,559	g/(cm)³
------------	--------------	---------------------------

Masa Unitaria Compacta	
Peso del agregado compacta	34881
Peso del cilindro vacío	3067
Arena compacta 1	11585
Arena compacta 2	11669
Arena compacta 3	11627

$$MUC = \frac{\text{Peso del agregado compacto}}{\text{volumen del recipiente}}$$

MUC	7,053	g/(cm)³
------------	--------------	---------------------------

Ecuación 20. Ecuación de masa unitaria suelta y compacta

Volumen del cilindro (m³)	4945,82
Radio (m)	9,2
Altura (m)	18,6

Tabla 32. Densidad de bulk

Fuente: propia

11.1. 3 Humedad

$$\text{Humedad} = \text{Peso material humedo} - \text{peso materia seco}$$

Humedad	0,897
Peso material húmedo	223
Peso material seco	221

11.1.4 Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico NTC 110

-2013

Consistencia Normal		
Masa de cemento (g)	500	
Porcentaje de cemento (%)	Agua (ml)	Penetración (mm)
30%	150	29
29%	145	27
28%	140	18
27%	135	9
26%	130	5

Consistencia normal (%)	0,268
Agua (ml)	134,24
penetración ideal (mm)	10

Tabla 33. Consistencia normal

Fuente: propia

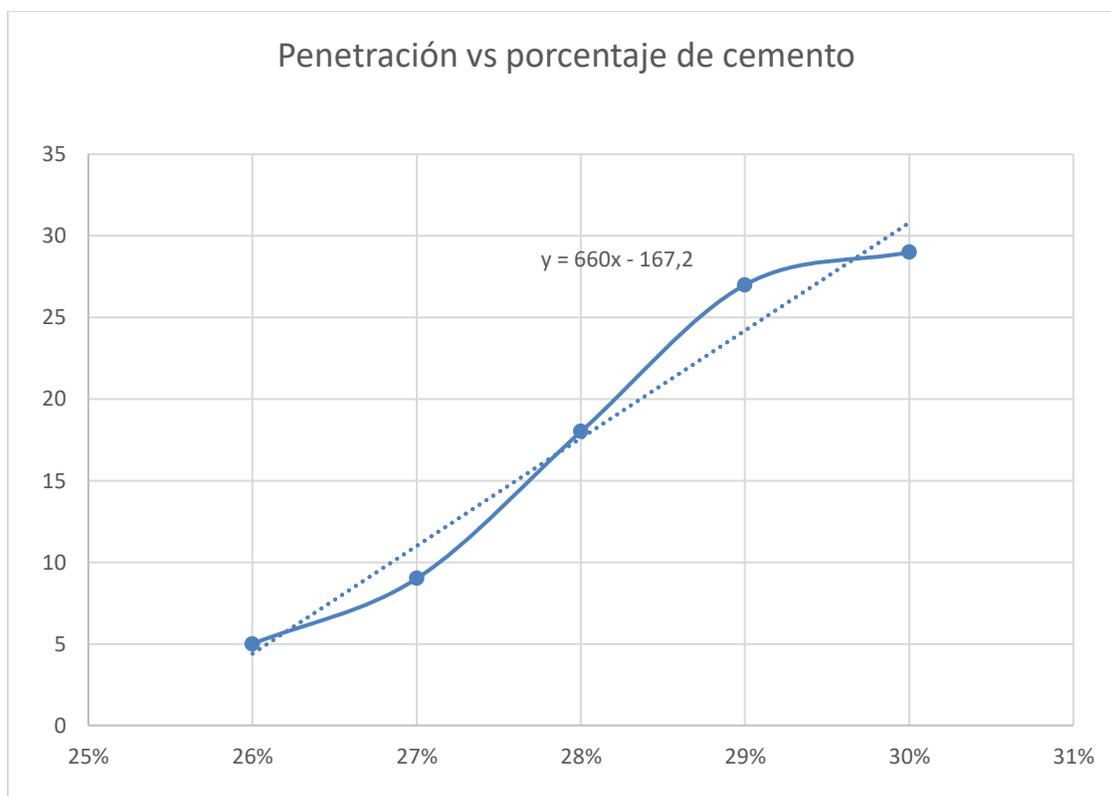


Tabla 34. penetracion vs porcentaje del cemento.

Fuente: propia

11.1.5 Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino (I.N.V.E 222) (en residuo óseo de res).

Peso específico y absorción de agregado fino	
Material SSS utilizada (g)	500
peso picnómetro + tapón (g)	161,8
peso recipiente (g)	70
peso del picnómetro + el material (g)+ el agua	998,6
Agua en picnómetro (ml)	500
peso del picnómetro + el agua (g)	690
peso material húmedo (g)	500
peso material seco (g)	494
Gravedad Especifica Aparente	

$$DRA = \frac{A}{B + A - C}$$

$$2,66 \text{ g/cm}^3$$

Densidad relativa

$$SSS = \frac{S}{B + S - C}$$

$$2,61 \text{ g/cm}^3$$

$$SH = \frac{A}{B + S - C}$$

$$2,58 \text{ g/cm}^3$$

Porcentaje de Absorción

$$\% \text{ Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100 :$$

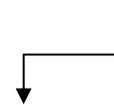
1,21 %

11.1.6 Equivalente de arena de suelos y agregados finos (I.N.V.E 133)

Equivalente de Arena

Altura de arcilla (pulgada)	3,9
Altura de arena (pulgada)	3,1
agua	10

$$\text{Equivalente de arena(EA)} = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} * 100$$



EA	79,49
-----------	--------------

Densidad del cemento hidráulico INV E-307-13

Densidad del cemento hidráulico

cemento (g)	64	
Resistencia	3000 psi	21 Mpa

Lecturas	
1 lectura	0,2
2 lectura	22,1

Densidad	2,92
-----------------	-------------



$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

11.1.7 Finura Blaine (NTC 33)

La Ecuación tal, que vamos a utilizar se presenta en la norma Inv-e 302-07

$$S = \frac{S_s \sqrt{N_s} \sqrt{T}}{\sqrt{T_s} \sqrt{N}} \text{ Donde:}$$

Finura Blaine

Cemento (g)	2,7
Temperatura c°	25

Tiempos (Segundo)	
--------------------------	--

T1	1,34
T2	1,37
T3	1,35
T4	1,35
T5	1,36

Calibración	
--------------------	--

Ss(cm ² /g)	3774
ρ (g/cm ³)	2,92
Ts (seg)	162
T(C°):	25
N:	18,28
Ns:	18,28

Superficie especifica muestra de ensayo
--

S1	343,429
S2	347,252
S3	344,708
S4	344,708
S5	345,982
S promedio	345,22

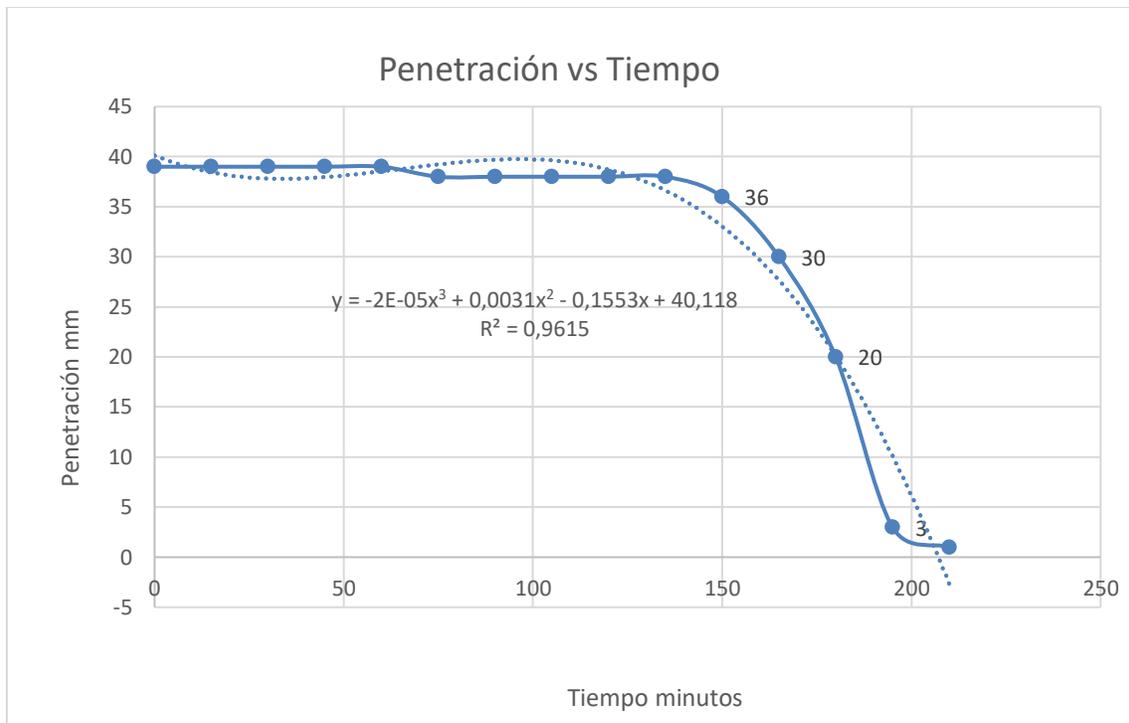
Tiempo de fraguado (Vicat) NTC 118

Tiempo de Fraguado

cemento (g)	500
Agua (ml)	135

Penetración 0-1

Hora	Tiempo	Penetración mm
9:00	0	39
9:30	15	39
9:45	30	39
10:00	45	39
10:15	60	39
10:30	75	38
10:45	90	38
11:00	105	38
11:15	120	38
11:30	135	38
11:45	150	36
12:00	165	30
12:15	180	20
12:30	195	3
12:45	210	1



$$Y = -2E-05x^3 + 0.0031x^2 - 0.1553x + 40.118$$

$$25 = -2E-05x^3 + 0.0031x^2 - 0.1553x + 40.118$$

$$0 = -2E-05x^3 + 0.0031x^2 - 0.1553x + 15.118$$

$$x = 1,2382$$

$T_F = F_f - F_i$
F_f: tiempo par aun penetracion de 0 mm
F_i = tiempo para una penetracion de 25 mm

$$T_f = 210$$

Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino (I.N.V.E 222) (en residuo óseo de res).

Densidad del picnómetro del hueso

peso picnómetro (g)	164
peso muestra (g)	306
peso muestra + material+agua (g)	837
peso agua (g)	692
peso seco (g)	272,8

Gravedad Especifica Aparente

$$DRA = \frac{A}{B + A - C}$$

2,135 g/cm³

Densidad relativa

$$SSS = \frac{S}{B + S - C}$$

1,91 g/cm³

$$SH = \frac{A}{B + S - C}$$

1,694 g/cm³

Porcentaje de Absorción

$$\% \text{ Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100 :$$

12,170 g/cm³

Anexo B. Ensayo SEM (ensayo barrio electrónico) realizado a la muestra de mortero.

- **Incorporación del hueso en la mezcla.**

Las siguientes imágenes fueron realizadas a través de SEM (ensayo barrio electrónico) muestran a una escala microscópica y a la vez manométrica del comportamiento de adherencia del residuo óseo seco de res en la matriz cementicia.

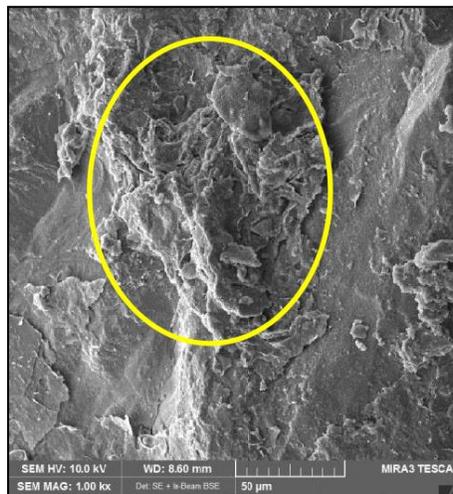


Figura 40. Imagen manométrica SEM mortero de control

Fuente: Laboratorio de nanotecnología UPB

- Mortero convencional

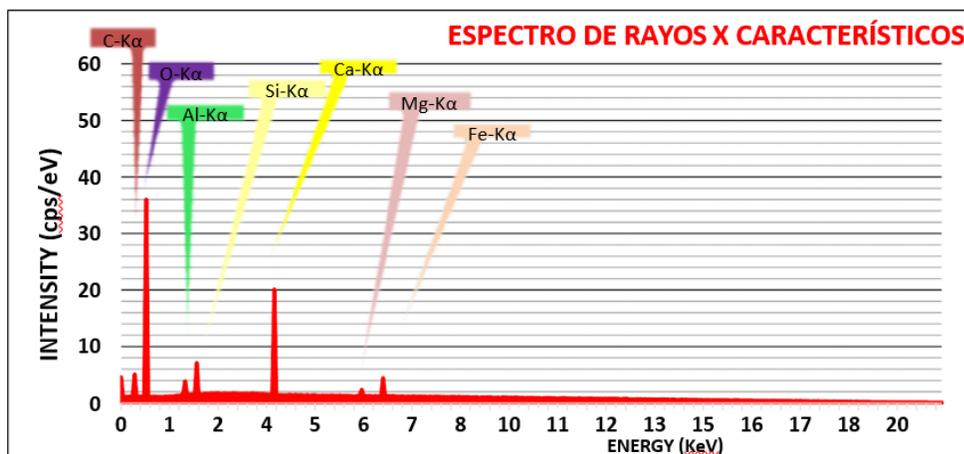


Figura 41. Espectro de rayos x, mortero convencional

Fuente: Laboratorio de nanotecnología UPB

Element	At. No.	Line S.	Netto	Mass [%]	s Norm. [%]	Atom [%]	s. Error [%] 1 sigma	s. Error [%] 2 sigma	s. Error [%] 3 sigma
Carbono	6	K-serie	32382,75,015	5,90	7,45	6,18	12,36	18,54	
Oxígeno	8	K-serie	17485,726,496	36,80	53,94	1,28	2,55	3,83	
Calcio	20	K-serie	2714,7117,51	20,60	16,75	0,28	0,55	0,83	
Silicio	14	K-serie	5275,868,8938	10,98	6,02	0,46	0,92	1,38	
Hierro	26	K-serie	1565,3810,5	12,50	9,01	0,2	0,39	0,59	
Aluminio	13	K-serie	6641,997,803	9,18	5,72	0,39	0,79	1,18	
Manganeso	25	K-serie	1648,3 2,9088	4,04	1,12	0,24	0,49	0,73	
			79,13	100,00	100,00				

Figura 42. Espectro de rayos x, mortero convencional

Fuente: Laboratorio de nanotecnología UPB

- Mortero con agregado de hueso de res



Figura 43. Imagen manométrica SEM interacción material cementicia

Fuente: Laboratorio de nanotecnología UPB

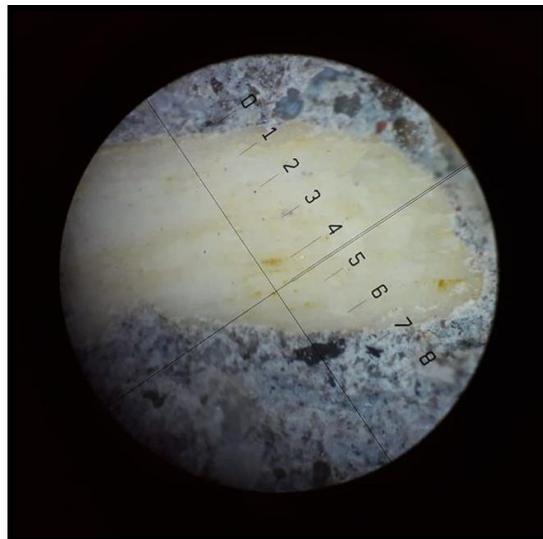


Figura 44. Imagen microscópica del hueso óseo

Fuente: Propia

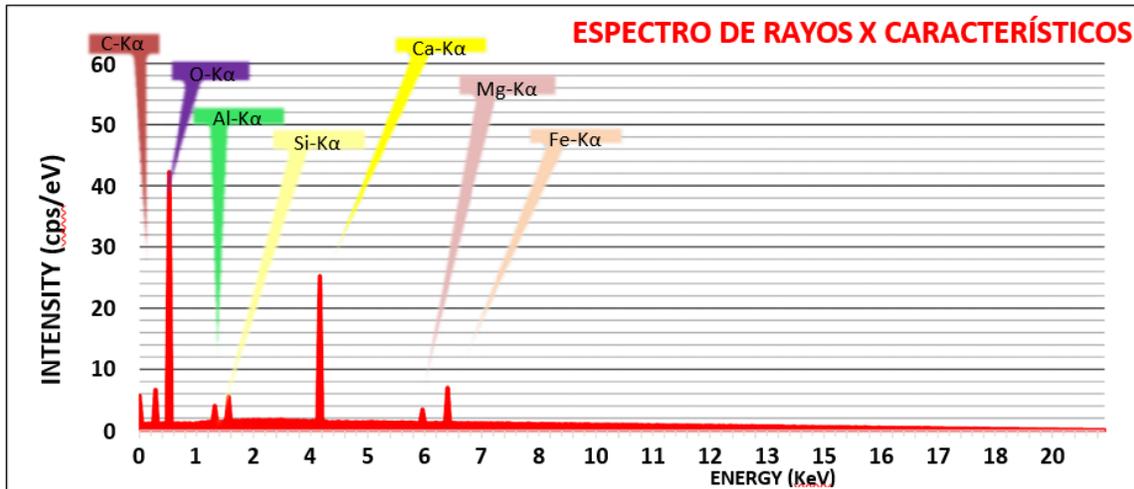


Figura 45. Espectro de rayos x con agregado de hueso de res

Fuente: Laboratorio de nanotecnología UPB

Element	At. No.	Line S.	Netto	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	Abs. Error [%] 1 sigma	Abs. Error [%] 2 sigma	Abs. Error [%] 3 sigma
Carbono	6	K-serie	34440,44,152454,72			7,79	6,18	12,36	18,54
Oxígeno	8	K-serie	19428,619,673527,71			39,22	1,28	2,55	3,83
Calcio	20	K-serie	2462,7518,112823,83			17,79	0,28	0,55	0,83
Silicio	14	K-serie	5034,4811,152812,39			10,93	0,46	0,92	1,38
Hierro	26	K-serie	1537,2613,777516,21			13,28	0,2	0,39	0,59
Aluminio	13	K-serie	6157,478,7560711,52			7,98	0,39	0,79	1,18
Manganeso	25	K-serie	1582,162,639683,62			3,01	0,24	0,49	0,73
				78,26	100,00	100,00			

Figura 46. Espectro de rayos x, mortero con agregado de hueso de res

Fuente: Laboratorio de nanotecnología UPB.