



***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.***

ARDILA BARRETO, JORGE SEBASTIÁN Autor 01. 1019113943 – 1320074.

ECHEVERRY ARIAS, JHON BAWINN Autor 02. 1030660892 – 1320668.

Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Civil.

Director: MORA SAMACÁ, JAIME IVÁN  
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
FACULTAD INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
BOGOTÁ D.C SEGUNDO SEMESTRE – 2018



## **AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS**

A Dios que nos dio la vida, las experiencias y los medios para alcanzar esta meta. A

nuestros padres Jorge y Jhon, madres Exelmira y Martha y hermanas Luisa y Tatiana que fueron un apoyo fundamental durante todo este proceso académico. A los docentes Iván y Sergio que fueron nuestro apoyo en el desarrollo teórico del proyecto. A Nurdgie y Elkin que fueron nuestro apoyo en el desarrollo práctico del proyecto.

Y a las personas que permitieron que llegáramos hasta este punto y que con fe y constancia hicieron parte de este proceso



## Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1.Justificación.....	8
1.2. Planteamiento del problema.....	9
1.3.Objetivos.....	10
2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1.Antecedentes.....	11
3. MARCO METODOLÓGICO.....	12
3.1.Diseño Metodológico Preliminar.....	12
3.2.Procedimientos.....	13
3.2.1. Selección Del Hueso Como Material De Reemplazo.....	13
3.2.1.1.Accesibilidad al Hueso.....	14
3.2.1.2.Medio Ambiente.....	14
3.2.1.3.Propiedades Mecánicas.....	14
3.2.2. Selección del hueso a trabajar.....	18
3.2.2.1.Propiedades mecánicas del hueso de la tibia.....	19
3.2.2.1.1. Resistencia al impacto.....	19
3.2.2.1.2. Resistencia a la Flexión.....	20
3.2.2.1.3. Resistencia a la Compresión.....	21
3.2.3. Procesos De Preparación Del Hueso Para La Mezcla.....	22
3.2.3.1.Corte del hueso del bovino.....	22
3.2.3.2.Limpieza del hueso del bovino.....	23
3.2.3.3.Trituración del hueso.....	23
3.2.3.4.Purificación del hueso.....	24
3.2.3.5.Determinación del Ph en la muestra del hueso.....	27
3.2.4. Concreto Modificado con Triturado de Hueso de Res.....	28



3.2.4.1. Diseño de Mezcla.....	28
3.2.4.1.1. Proporciones y cantidades Concreto Convencional.....	32
3.2.4.1.2. Proporciones y Cantidades Concreto Modificado Con 10% De Agregado Grueso De Hueso Triturado Y 90% De Agregado Grueso Natural.....	33
3.2.4.1.3. Proporciones y Cantidades Concreto Modificado Con 20% De Agregado Grueso De Hueso Triturado Y 80% De Agregado Grueso Natural.....	34
3.2.4.1.4. Proporciones y Cantidades Concreto Modificado Con 30% De Agregado Grueso De Hueso Triturado Y 70% De Agregado Grueso Natural.....	34
3.2.5. Fundición Y Curado De Cilindros.....	35
3.2.6. Ensayo De Compresión De Cilindros.....	38
3.2.6.1. Tipos de Falla de Cilindros Según Norma Técnica Colombiana.....	39
3.3. RESULTADOS.....	40
Resultados A Compresión De Los Cilindros De Concreto Convencional.....	40
3.3.1. Cilindros De Concreto Convencional (7 Días).....	40
3.3.2. Cilindros De Concreto Convencional (14 Días).....	42
3.3.3. Cilindros De Concreto Convencional (28 Días).....	44
3.4. Resultados A Compresión De Los Cilindros De Concreto Con 10% De Agregado Grueso De Reemplazo.....	45
3.4.1. Cilindros De Concreto Modificado Con 10% De Hueso Triturado (7 Días).....	45
3.4.2. Cilindros De Concreto Modificado Con 10% De Hueso Triturado (14 Días).....	47
3.4.3. Cilindros De Concreto Modificado Con 10% De Hueso Triturado (28 Días).....	48
3.5. Resultados A Compresión De Los Cilindros De Concreto Con 20% De Agregado Grueso De Reemplazo.....	50



3.5.1. Cilindros De Concreto Modificado Con 20% De Hueso Triturado (7 Días)	.....51
3.5.2. Cilindros De Concreto Modificado Con 20% De Hueso Triturado (14 Días).....53	
3.5.3. Cilindros De Concreto Modificado Con 20% De Hueso Triturado (28 Días).....55	
3.6.Resultados A Compresión De Los Cilindros De Concreto Con 30% De Agregado Grueso De Reemplazo.....55	
3.6.1. Cilindros De Concreto Modificado Con 30% De Hueso Triturado (7 Días)	.....56
3.6.2. Cilindros De Concreto Modificado Con 30% De Hueso Triturado (14 Días).....58	
3.6.3. Cilindros De Concreto Modificado Con 30% De Hueso Triturado (28 Días).....60	
4. GRAFICAS DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN.....60	
4.1.Análisis de las curvas esfuerzo vs deformación.....62	
5. Proyecciones de resistencias a la compresión.....62	
6. CONCLUSIONES.....63	
7. REFERENCIAS.....66	
8. ANEXOS.....70	



#### LISTADO DE GRAFICAS.

Grafica 1. Curva Carga Vs Desplazamiento de los distintos tipos de huesos.

Grafica 2. Curva Esfuerzo Vs Deformación para los ensayos de flexión, compresión, y tracción para huesos compactos.

Gráfica 3. Regresión de la resistencia del hueso con respecto al área cortical.

Grafica 4. Representación de resultados de pruebas de flexión al hueso del ratón.

Grafica 5. de la Curva Fuerza vs Deformación de un hueso de perro sometido a compresión.

Grafica 6. Porcentaje de Agregado Grueso y Fino Destinado para la Mezcla de Concreto.

Grafica 7. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto convencional con edad de 7 días.

Gráfica.8 Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto convencional con edad de 14 días.



Grafica 9. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto convencional con edad de 28 días.

Grafica 10. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 10% de hueso triturado con edad de 7 días.

Grafica 11. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 10% de hueso triturado con edad de 14 días.

Grafica 12. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 10% de hueso triturado con edad de 28 días.

Grafica 13. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 20% de hueso triturado con edad de 7 días.

Grafica 14. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 20% de hueso triturado con edad de 14 días.

Grafica 15. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 20% de hueso triturado con edad de 28 días.

Grafica 16. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 30% de hueso triturado con edad de 7 días.

Grafica 17. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 30% de hueso triturado con edad de 14 días.

Grafica 18. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 30% de hueso triturado con edad de 14 días-

Grafica 19. Esfuerzo Vs Deformación de ensayo de resistencia a la compresión de los cilindros más resistentes por proporciones de material de reemplazo y concreto convencional de 28 días.

Grafica 20. Proyección de concreto con 10 % de triturado de hueso.

Grafica 21. Proyección de concreto convencional.

## LISTADO DE IMÁGENES

Imagen 1. Partes De La Tibia.

Imagen 2. del montaje del ensayo para la compresión de la parte central de la diáfisis de la tibia del perro.

Imagen 3: Estado del hueso después de la trituración.

Imagen 5: Estado del hueso después de la exposición del material al cloro.

Imagen 6. Cilindro de Concreto con 20% de Hueso Triturado.

Imagen 7. Desencofrado de los cilindros de concreto.

Imagen 8. Curado de especímenes de concreto con 30% de hueso triturado de reemplazo como agregado grueso.

Imagen 9. Montaje del Cilindro de Concreto con 10% de Agregado de Hueso Triturado.

Imagen 10. Forma de la Falla Transversal de un Cilindro con 30% de Agregado de Hueso Triturado.

Imagen 11: Tipos de fallas típicos para los cilindros a compresión.



Imagen 12. Tipos de fallas de cilindros de concreto convencional 7 días (Izquierda), 14 días (Centro), 28 días (Derecha).

Imagen 13. Tipo de falla del cilindro 5 con 10% de agregado de hueso triturado.

Imagen 14. Tipo de fallas de cilindros de concreto con 10% de hueso triturado a 14 días.

Imagen 15. Tipo de fallas de cilindros de concreto con 10% de hueso triturado a 28 días. Fuente Propia.

Imagen 16. Tipo de falla del cilindro 4 con 20% de hueso triturado (7 Días).

Imagen 17. Tipo de fallas de cilindros de concreto con 20% de hueso triturado a 14 días (Izquierda) y a 28 días (Derecha).

Imagen 18. Fallas presentadas en los cilindros de 7 días (Izquierda), 14 días (Centro) y 28 días (Derecha) con un 30% de hueso triturado en forma de agregado grueso.

Imagen 19. Escala De pH.

#### LISTADO DE TABLAS.

Tabla 1. Peso Seco, Gravedad Especifica y Volumen Absoluto por 1 Metro Cubico de Concreto Convencional.

Tabla 2. Cantidades de Materiales Necesarios para la Fundición de 1m<sup>3</sup> de Concreto Convencional.

Tabla 3. Peso Seco, Gravedad Especifica y Volumen Absoluto por 1 Metro Cubico de Concreto Modificado con 10% de Agregado Grueso de Hueso Triturado

Tabla 4. Cantidades de Materiales Necesarios para la Fundición de 1m<sup>3</sup> de Concreto Modificado con 10% de Hueso Triturado.

Tabla 5. Peso Seco, Gravedad Especifica y Volumen Absoluto por 1 Metro Cubico de Concreto Modificado con 20% de Agregado Grueso de Hueso Triturado.

Tabla 6. Cantidades de Materiales Necesarios para la Fundición de 1m<sup>3</sup> de Concreto Modificado con 20% de Hueso Triturado. Se muestran los valores ya después de hacer las correcciones por humedad.



Tabla 7. Peso Seco, Gravedad Especifica y Volumen Absoluto por 1 metro cubico de concreto modificado con 30% de agregado grueso de Hueso Triturado.

Tabla 8. Cantidades de Materiales Necesarios para la Fundición de 1m<sup>3</sup> de Concreto Modificado con 30% de Hueso Triturado.

Tabla 9. Cantidades de especímenes de concreto de 6” para los diseños de mezcla.

Tabla 10. Datos de cilindros de concreto convencional fallados a los 7días.

Tabla 11. Datos de cilindros de concreto convencional fallados a los 14 días.

Tabla 12. Datos de cilindros de concreto convencional fallados a los 28 días.

Tabla 13. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 10% de reemplazo a 7 días.

Tabla 14. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 10% de reemplazo a 14 días.

Tabla 15. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 10% de reemplazo a 28 días.

Tabla 16. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 20% de reemplazo a 7 días.

Tabla 17. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 20% de reemplazo a 14 días.

Tabla 18. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 20% de reemplazo a 28 días.

Tabla 19. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 30% de reemplazo a 7 días.

Tabla 20. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 30% de reemplazo a 14 días.

Tabla 21. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 30% de reemplazo a 28 días.

Tabla 22. Granulometría de agregados gruesos.

Tabla 23. Granulometría de agregados finos.

Tabla 24. Índice de aplanamiento y alargamiento.

Tabla 25. Porcentaje de caras fracturadas.

Tabla 26. Gravedad Específica y Absorción fino.

Tabla 27. Densidad, Densidad Relativa y Absorción Agregado Grueso.

Tabla 28. Densidad, Densidad Relativa y Absorción Agregado Grueso hueso.

Tabla 29. Porcentaje de Humedad.

Tabla 30. Resistencia a la abrasión por el método de la máquina de las ángeles.

Tabla 31. Equivalente de arena método de la solución Stock.

Tabla 32. Contenido de materia Orgánica.

Tabla 33. Pruebas de Purificación del triturado de hueso con cloro.

Tabla 34. Pruebas de Purificación del triturado de hueso con Exposición a altas temperaturas.

Tabla 35. Prueba pH del hueso Triturado.

Tabla 36. Proyecciones de resistencias a la compresión en correlación con días de ensayo

**PALABRAS CLAVE: Hueso Triturado, Resistencia A La Compresión, Mezcla De Concreto Modificado.**

## INTRODUCCIÓN.

### 1.1. Justificación del Estudio.

Este proyecto se justifica en el deseo de la ampliación de investigaciones realizadas en torno a la modificación del concreto con huesos. La investigación propone al hueso de la res como agregado en el concreto para sustentar las necesidades de una manera efectiva y reduciendo el impacto ambiental y económico que conlleva normalmente la fabricación de este. La selección del material de estudio, en este caso el hueso de la res se escogió debido a la resistencia que este material provee en el cuerpo, basados en bibliografías referentes a la anatomía y a la composición del material óseo; luego de realizar los estudios teórico-prácticos y dependiendo del éxito de esta implementación, los huesos de la res se podrían utilizar en el sector de la construcción.

Esta investigación busca mejorar en la mezcla del concreto las siguientes características, **físicas**: menor peso; **mecánicas**: resistencia a la compresión, mayor flexibilidad y elasticidad.

El proyecto proveerá con sus resultados, una investigación que dotará a futuros investigadores una base para encaminar sus estudios con un enfoque similar a la modificación de concreto con el hueso de la res, mientras que sus limitaciones se ven reflejadas en la obtención del material y su proceso por el cual se obtenga la forma a manejar. Para poder desarrollar esta investigación son importantes los conocimientos que se han obtenido en el transcurso de la carrera relacionado con la línea estructural y de los procesos constructivos, las cuales se basan en el manejo del concreto, sus propiedades y sus posibles comportamientos al momento de revisar la calidad del concreto que se maneje o de realizar un diseño estructural que cumpla con las normas y las especificaciones establecidas.

## 1.2.Planteamiento del problema.

El avance tecnológico de estos las últimas décadas han aportado mejoras al uso, manejo y modificación del concreto, pretendiendo intervenir propiedades tanto mecánicas en el caso de incrementar la resistencia, químicas en el ámbito de combatir su deterioro, físicas con el fin de reducir problemas patológicos y/o estéticos para adecuarse a la percepción de los usuarios. A partir de estas necesidades, surgen estudios propuestos direccionados a satisfacer estos requerimientos siempre buscando reducir impactos negativos entre ellos ambientales, sociales, económicos. Varios estudios se han encaminado a la modificación del concreto a partir de distintos materiales como lo son las adiciones de

limadura de hierro, corcho, triturado de ladrillo, vidrio, etc., brindando cualidades al concreto ya sea en forma de agregado grueso, agregado fino y aditivos.

Con el objetivo de abarcar parte de las propiedades, que en los estudios se han direccionado a mejorar, este trabajo de investigación propone al hueso de res, implementado en el concreto, como parte de la solución a varios interrogantes en el ámbito de resistencia de concreto, economía e impactos ambientales de una manera efectiva. La facilidad de acceso al hueso de la res, las propiedades mecánicas del hueso a manejar y las condiciones en la que los huesos son dispuestos en un proceso posterior al almacenamiento en un frigorífico hacen posible la postulación de este material para modificar el concreto. La presente investigación se enfocara en ensayos prácticos en los cuales se va a establecer una caracterización de los materiales a utilizar, incluido el material de modificación, así como también en ensayos sobre los cuales se pueden establecer comportamientos mecánicos del concreto con el material incluido, todo esto basado en estudios teóricos sobre el hueso, el concreto y los diferentes resultados que se han obtenido en las investigaciones sobre la modificación del concreto con distintos materiales.

A partir de las suposiciones realizadas, ¿Es viable la implementación del hueso de la res como modificación al concreto convencional en términos de resistencia, economía e impacto ambiental?

### 1.3.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

#### 1.3.1. Objetivo General.

Analizar el comportamiento de una mezcla de concreto convencional modificando su diseño con hueso de res triturado como agregado grueso, a través de ensayos mecánicos que permitan estimar su viabilidad como un posible material de reemplazo.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos.

1. Identificar las posibles ventajas y desventajas que implica la implementación de este nuevo agregado comparándolo con una mezcla de concreto convencional por medio de procesos teórico -prácticos.
2. Considerar el impacto ambiental y económico que conlleva la realización de una mezcla de concreto a partir del empleo de triturado de hueso de res como agregado grueso.
3. Obtener resultados a partir de procesos metodológicos y empíricos, que describan la funcionalidad del hueso de res como modificación al concreto para poder comparar y analizar los resultados de diferentes proporciones de remplazo del agregado desde el punto de vista de sus propiedades mecánicas.
4. Proponer, luego de los procesos y análisis de resultados, la proporción optima de agregado de hueso de res que satisfaga las necesidades y variables definidas que dependerán de si los resultados obtenidos son satisfactorios.

## 2. MARCO TEÓRICO.

### 2.1. Antecedentes

El hueso seco está constituido en un 60 % - 70 % por un constituyente llamado Hidroxiapatita el cual es un mineral formado por fosfato de calcio cristalino ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) del cual se deduce que posee un 99 % de depósito de calcio, y un 80 % de fósforo total. Todo esto permite que el hueso sea un material resistente a la compresión (Michael H. Ross, 2007). El otro 40 % lo constituye 10 – 20 % de agua y 30 % colágeno el cual tiene como característica proveer al hueso gran resistencia a la tracción,

teniendo como punto de rotura de los tendones humanos una fuerza de cientos de kilogramos por centímetros cuadrados, lo que permite la oposición a las tracciones ejercidas en diferentes direcciones en los mamíferos; además otra de las propiedades del colágeno dependiendo su tipo es el fortalecimiento de los huesos, articulaciones y uñas (anonimo, CoDeco nutrilife, s.f.). La estructura ósea a nivel macroscópico del hueso tiene como componente la diáfisis que constituye la mayor parte de los huesos largos. Este tipo de huesos brindan resistencia, estructura y movilidad (Silverstein JA, 2011), una resistencia última a la compresión entre 107.5 y 150 MPa (Mendoza, 1998). Estos valores corresponden aproximadamente al 60 % de la resistencia total del hueso entero. Una de las características biomecánicas del hueso compacto es que posee una porosidad entre el 5 y el 30 % lo cual influye positivamente en la resistencia del hueso debido a que el hueso cortical tiene una estructura más compacta que la de un hueso trabecular (Caeiro JR, 2013).

El uso del hueso en los ámbitos de construcción fue uno de los primeros materiales que, se supone, se utilizó puesto que en los inicios de la humanidad era un material abundante. Desde la época de los Neandertales quienes utilizaban huesos de mamut para levantar sus refugios de forma prolongada y no temporal, debido a que algunos de los huesos utilizados presentaban tallas decorativas y pigmentos añadidos (Esperante, 2010). Otro caso registrado en la literatura es el de la antigua ciudad de Iberia donde se utilizaban los huesos de caballos para construir osarios de oración, los huesos empleados para tal fin eran los más largos como fémures, humeros, tibias y radios. En la construcción de la época prehistórica las diversas demandas en este campo dieron pie al surgimiento y creación del mortero; esta mezcla al principio estaba compuesta solo de tierras con cenizas y restos óseos, pero con el pasar del tiempo y las diferentes técnicas la mezcla se optimizó con la adición de otros componentes tales como otros huesos, asfalto, barro, pigmentos, etc. La mezcla se utilizaba para la construcción de muros, megalitos, pavimentos, o suelos. La presencia de los restos orgánicos permite la verificación de su uso en diferentes civilizaciones donde se ha encontrado dicho predicamento (Rodríguez). Las construcciones actuales utilizan concretos silicocalcareos que son producidos a partir de mezcla de arenas naturales o artificiales, pero se ha visto en el hueso una alternativa amigable con el planeta y sostenible a la cual se le ha dado el nombre de concreto ecológico a base de hueso calcinado para producir así Cal viva



(Oxido de Calcio), producida con bajo costo energético y económico, este tipo de proyectos se han venido desarrollando por parte de las industrias en varios países a nivel mundial (Cesar Monroy & Juan David Ospina, 2013).

### 3. MARCO METODOLÓGICO.

#### 3.1. Diseño Metodológico Preliminar.

Este proyecto de investigación tiene su fundamento en las investigaciones teóricas y en la práctica, a partir de normatividad que define los procesos a seguir para el desarrollo integral de cada uno de los componentes y variables que se desean analizar, para luego desarrollar un análisis de resultados que satisfaga todo lo planteado anteriormente. Para realizar la gestión de esta investigación será hará énfasis en la comprensión y aplicación de la norma



técnica colombiana (NTC), el instituto nacional de vías (INVIAS) y el aprendizaje obtenido a lo largo de la carrera para el desarrollo de las respectivas pruebas con las cuales se puede dar a conocer el resultado y posteriormente el análisis de este. El método de análisis de información que se empleara consta de una investigación previa en la cual se obtendrá información sobre la relación del hueso con la ingeniería civil, pues abarcará temas que tiene fuerte conexión con la carrera tales como, resistencia de materiales, propiedades físicas, químicas y biológicas, que pueden afectar de forma positiva o negativa a los resultados; un desarrollo práctico en los laboratorios que consiste en la caracterización de los materiales que se emplearan, el diseño de mezcla tanto para concreto convencional como para la mezcla con agregado de hueso el cual será adaptado como un elemento propio del concreto, un proceso de fundición y los ensayos destructivos que sean necesarios para medir la resistencia a la compresión y algunos posibles problemas de orden patológico basados en la afectación de agentes atmosféricos; la obtención de resultados e interpretación de los mismos a partir de las normas, la aplicación de la lógica y análisis adquiridos en el proceso académico; un análisis comparativo que dotara de argumentos suficientes para proceder a la toma de decisiones y así concluir sobre la viabilidad del proyecto.

### 3.2.Procedimientos.

#### 3.2.1. Selección Del Hueso Como Material De Reemplazo

El objetivo de encontrar un material que pudiera reemplazar en ciertas proporciones el agregado grueso de la mezcla de concreto se basaba en mantener o posiblemente mejorar las propiedades mecánicas a las cuales está sometido el concreto en las estructuras, ya sean a flexión o a compresión. Se busca un material que fuera de fácil acceso, con el fin de que la adquisición del material no tuviera mayor complicación, se necesita un material el cual pudiera proporcionar resistencia debido a su composición, ambientalmente tenía que ser un material que para su manipulación no generara algún efecto adverso o no deseado a la atmósfera, pues actualmente cualquier proceso tiene que buscar ser amigable con el medio ambiente para no seguir deteriorando la capa de ozono. Todas estas características las

cumplía el hueso con el cual teóricamente podría servir para modificar la mezcla de concreto, ya sea a través de la resistencia que podría prestar el nuevo material, el mejoramiento del proceso para reducir las emisiones atmosféricas o simplemente para que el presente trabajo sirva como referencia como un proyecto de investigación sobre el análisis del comportamiento de la mezcla de concreto con un material que puede traer ventajas, desventajas o no generar algún tipo de cambio con respecto al concreto convencional.

#### 3.2.1.1. Accesibilidad al Hueso.

La accesibilidad que se tiene sobre los huesos depende del tipo de material óseo que se requiera con respecto a la procedencia, es decir, ya sea de procedencia humana o animal. El acceso al hueso animal es sencillo, puesto que, en diferentes bodegas, en las cuales se lleva el proceso que consiste en el deshuese del animal, se pueden adquirir. En aquellas bodegas dedicadas a este proceso, la venta de huesos se genera al por mayor puesto que los mismos huesos provenientes de la res o del porcino son destinados en muchas ocasiones para la producción de concentrado a través de los desechos comestibles aprovechables del animal. Aproximadamente el 21% de los huesos vacunos son destinados a este proceso, mientras que el 32% del hueso porcino se destina al mismo fin de concentrado para el engorde de pollos y cerdos (Cabrera, 1994).

#### 3.2.1.2. Medio Ambiente.

En el entorno en el que se vive, la implementación del hueso reduciría la generación de material agregado de las canteras y los procesos de calcinación que se tienen en los mataderos, lo cual crea una gran ventaja para el ecosistema pues los procesos que se evitarían derivados del uso del hueso después del aprovechamiento de la carne y medula favorecerían la reducción de las emisiones de gases que se producen al generar un posible

concentrado para el ganado. Este argumento da a los autores de este trabajo de investigación otro indicio positivo para la selección del hueso como material de reemplazo.

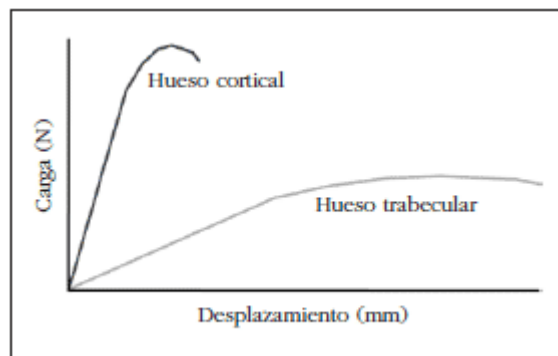
### 3.2.1.3. Propiedades Mecánicas

Si bien es cierto que el hueso tiene como función permitir el movimiento, darle forma al cuerpo y proteger los órganos principales (Aguinaga, 2013) también tiene la función principal que es la de proveer resistencia con el fin de soportar el peso de todo el cuerpo, pues al realizar movimientos como caminar, correr, golpear y hacer ejercicio el hueso está recibiendo una fuerza que tiene que resistir y/o superar, pues de lo contrario, se produciría una fractura o una fisura en el sistema óseo. Por esto, se recomienda hacer frecuentemente ejercicios, pues lo que se logra a partir de esto es que la densidad de los huesos aumente y se contrarresten efectos nocivos para la salud como lo es la osteoporosis que consiste en la disminución de la resistencia de los huesos pues este va perdiendo densidad volviéndolo más susceptible a fracturas (MedlinePlus, 2015), es decir, la calidad del hueso se ve afectada (Fernández & Pérez, 2010). La resistencia biomecánica del hueso está fundamentada en un 80% por la cantidad ósea mientras que el 20% restante se basa en la calidad del hueso (J.R., P., & D., 2013). En un estudio realizado en la Universidad Camilo José Cela (España) se investigó sobre el efecto del índice de rigidez del hueso sobre una muestra de 122 corredores de maratón, 81 corredores de media maratón y un grupo de personas sedentarias. Los resultados reflejaban que índice de rigidez de personas que frecuentaban correr era superior al índice que poseían los huesos de las personas sedentarias, es decir, los huesos eran más resistentes pues poseían una densidad mayor (SINC, 2016).

En varios estudios se han puesto a prueba las propiedades mecánicas del hueso, es decir, se han realizado ensayos en los cuales pruebas a tracción, pruebas a 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. A partir del tipo de hueso, su comportamiento es diferente, puesto que la respectiva composición hace que el hueso tenga una mayor elasticidad que otros. El hueso compacto o cortical poseen una mayor

elasticidad que los huesos esponjosos mientras que la plasticidad del hueso es mayor en los huesos esponjosos que en los huesos compactos y a partir de esto, resisten mayores deformaciones (Sanzana Salamanca, 2004). Varias fuentes han obtenido distintos módulos de elasticidad de ambos tipos de huesos. Para el módulo de elasticidad del hueso cortical se han encontrado valores de alrededor de 20 GPa (Sanzana Salamanca, 2004), de 17 GPa y de 11.5 GPa (Hernández, y otros, 1999) siendo estos dos últimos valores hallados en el fémur en donde la parte de la diáfisis obtiene el valor más alto y la parte de los ejes transversales el valor más bajo. En los huesos trabeculares los valores del módulo están entre los valores de 0,1 GPa (Sanzana Salamanca, 2004) y 1 GPa (Hernández, y otros, 1999) siempre concluyendo que el módulo de elasticidad del hueso compacto es mayor al del hueso esponjoso.

El módulo de elasticidad es mayor en los huesos corticales que en los huesos esponjosos o trabeculares haciendo la salvedad de que la desviación de los resultados se basa en que el hueso no es totalmente perfecto; es por esto por lo que como se describe en la gráfica 1 la pendiente es más pronunciada resistiendo cargas mayores con deformaciones bajas antes de alcanzar el punto de rotura. Por otro lado, el hueso trabecular, aunque no posee un módulo de elasticidad alto, la elasticidad es mayor haciendo que las deformaciones sean mayores antes del punto máximo de rotura. Cabe resaltar que todas las propiedades se realizan con muestras que integran los diferentes niveles de composición del hueso, es decir, muestras que contengan desde la Nanoestructura que contiene las fibras y moléculas de colágeno y los componentes minerales hasta la Macroestructura la cual contiene la estructura compuesta del hueso (J.R., P., & D., 2013).



Gráfica 1. Curva Carga Vs Desplazamiento de los distintos tipos de huesos. **Fuente:** (J.R., P., & D., 2013)

### Resistencia a la tracción del hueso

Con respecto a la resistencia a la tensión, se dice que el hueso posee una resistencia parecida a la que se ha presentado en el hierro, pero teniendo como factor favorable que el hueso es más flexible y más ligero siendo la fuente principal de esta resistencia el colágeno presente, llegando a tener una magnitud que varía entre 78 y 151 MPa (Sanzana Salamanca, 2004). Existen otros valores que se han hallado en los huesos corticales a través de pruebas de laboratorio las cuales dictan valores que varían entre 107 y 170 MPa (J.R., P., & D., 2013) y otras fuentes que resultan en valores de 76.6 MPa (Mendoza, 1998).

### Resistencia a la flexión del hueso

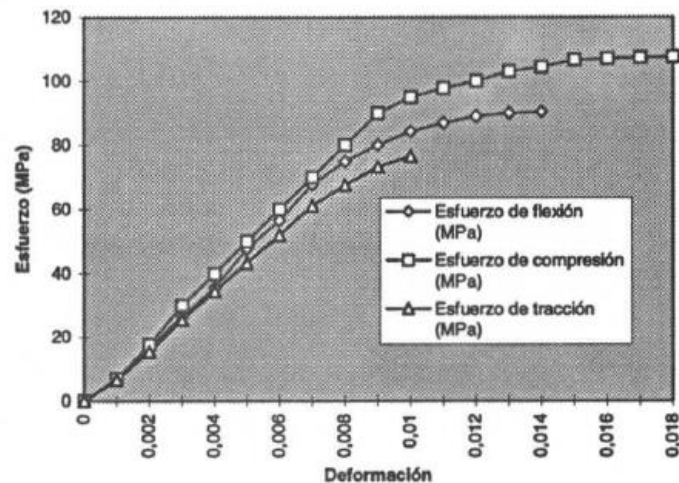
La resistencia a la flexión está ligada a varios factores como lo son la longitud y la forma pues cuanto mayor sea la cantidad de tejido óseo a lo largo del eje neutro, será mayor la resistencia cuando el hueso flecta (Voegeli, 2001). Los valores de referencia para este ensayo fueron 90,4 MPa (Mendoza, 1998) y de 103 MPa (J.R., P., & D., 2013).

### Resistencia a la compresión del hueso

Para el caso de la compresión del hueso, es necesario aclarar que los resultados son variados pues algunos de los valores corresponden a ensayos realizados sobre el hueso trabecular o esponjoso llegando a tener valores entre 1,5 MPa y 10 MPa, mientras que en los huesos corticales los resultados varían entre 131 MPa y 224 MPa (Sanzana Salamanca, 2004). Otros resultados de estudios y ensayos realizados sobre los huesos corticales para encontrar la resistencia a la compresión mostraron una magnitud de 107,5 MPa (Mendoza, 1998)

La grafica 2 obtenida de un artículo científico propuesto por Álvaro Mendoza de la Universidad Nacional De Colombia en 1998 muestra el desarrollo de los ensayos de flexión, compresión y tracción sobre huesos compactos de humanos tanto mujeres como hombres con nacionalidad colombiana. Se muestra una superioridad en los resultados de la resistencia a la compresión del hueso teniendo a la vez la mayor deformación

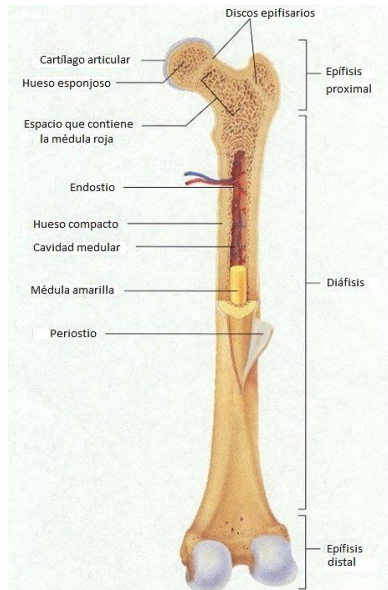
inmediatamente antes del punto de rotura. Todos los ensayos mostraron lo que se aproxima a la ley de Hooke sin embargo en los resultados obtenidos en los ensayos de flexión y tracción no se observa de manera detallada la parte plástica del hueso antes de la falla a los 90 MPa y los 76 MPa respectivamente. En cuanto a la pendiente de las curvas, se proyectan de manera similar puesto que los 3 ensayos se realizaron sobre el mismo tipo de material (Hueso Cortical o Compacto).



Grafica 2. Curva Esfuerzo Vs Deformación para los ensayos de flexión, compresión, y tracción para huesos compactos. *Fuente:* (Mendoza, 1998).

### 3.2.2. Selección del hueso a trabajar.

La selección del hueso con el que se va a reemplazar parte del agregado grueso del concreto se hizo a partir de las características físicas o forma del hueso y por la composición osteología del hueso del animal, en este caso de un bovino. A partir de las características físicas o forma, los huesos más adecuados son aquellos denominados como Huesos Largos, que son aquellos que presentan una forma cilíndrica y sobre el cual predomina la longitud sobre el ancho (Rivera, 2011), este tipo de huesos proporciona resistencia, debido a que soporta el peso de bovino (Cubides, 2013), movilidad y estructura (Medline Plus, 2017). En



**Imagen 1. Partes De La Tibia.**

*Tomada de: Ingrum.org*

cuanto a la composición molecular, el hueso apropiado es el hueso compacto debido a que la cantidad de espacios o vacíos entre las fibras que componen el hueso son mínimas, se ubican en forma de lámina y de forma concéntrica (Atlas de histología vegetal y animal, 2016). Los huesos largos se componen en un 80% de hueso compacto y un 20% de hueso esponjoso (Sanchez, 2016), ese porcentaje de hueso esponjoso se ubica en su mayoría en las epífisis mientras que la parte compacta se ubica en la diáfisis. La tibia se clasifica como un hueso largo y voluminoso (Gloobe, 1989), ubicado en las extremidades posteriores de los bovinos. Por esta descripción, la tibia como hueso largo y compacto se escogió como un hueso adecuado el cual podría servir como un material de

reemplazo en la mezcla del concreto con el fin de que, así como en los humanos y animales, proporcione resistencia por su composición osteológica.

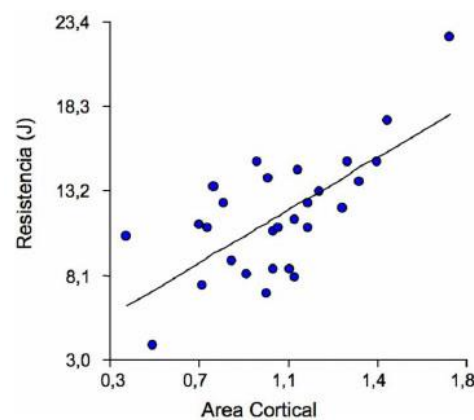
### 3.2.2.1. Propiedades mecánicas del hueso de la tibia.

Las propiedades mecánicas que se determinaron en distintos artículos científicos describen de una manera más apropiada el comportamiento de la tibia a ciertos ensayos mecánicos como lo son las pruebas de impacto, pruebas a flexión a compresión.

#### 3.2.2.1.1. Resistencia al impacto:

Para la prueba de impacto se usó la tibia procedente de un perro. Esta prueba se realizó por el método de Ensayo de Charpy en el cual se utiliza una maquina en formula de péndulo, se le adjudica su nombre a Georges Charpy. Este ensayo consta de un péndulo con un martillo el cual golpea una probeta simplemente apoyada del correspondiente material que se quiera estudiar con el fin de encontrar la energía absorbida antes de generar una ruptura del material (Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito, 2011). Para este ensayo de

impacto se usaron 30 muestras y se fallaron respectivamente con ayuda de la máquina de Charpy. El valor promedio de las 30 muestras a la prueba de impacto fue de 11,57J (Fioretti, y otros, 2013). Este resultado se puede comparar con la resistencia al impacto de unas muestras de distintos metales que fueron expuestas a condiciones atmosféricas con el fin de determinar la incidencia de la corrosión del material en la tenacidad de estos. La tenacidad para el acero estuvo entre los rangos de 63J - 65J, la del bronce se ubicó entre 15J – 22J y el aluminio el cual tuvo valores entre 44J – 59J (Vera, y otros).



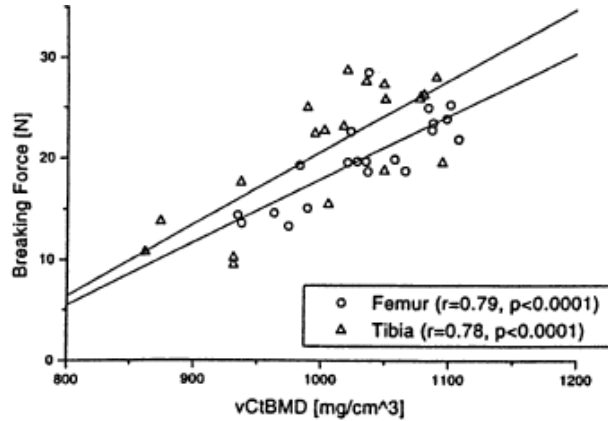
Gráfica 3. Regresión de la resistencia del hueso con respecto al área cortical. **Fuente:** (Fioretti, y otros, 2013). Esta grafica muestra los resultados de la resistencia de la tibia del perro a la prueba de impacto y la línea de regresión con la cual se obtuvo una correlación  $r = 0,7$ .

### 3.2.2.1.2. Resistencia a la flexión:

Para esta prueba, se utilizaron 10 muestras de ratones machos de los cuales se utilizaron las tibias para el estudio, el hueso constaba de aproximadamente 17,5 mm de longitud. Los soportes fueron redondeados para evitar la falla por corte mientras que la presión de la carga de iba aplicando directamente sobre el punto central de diáfisis con una rata de velocidad de 0,155 mm/sec. La magnitud de la fuerza máxima aplicada para el ensayo se



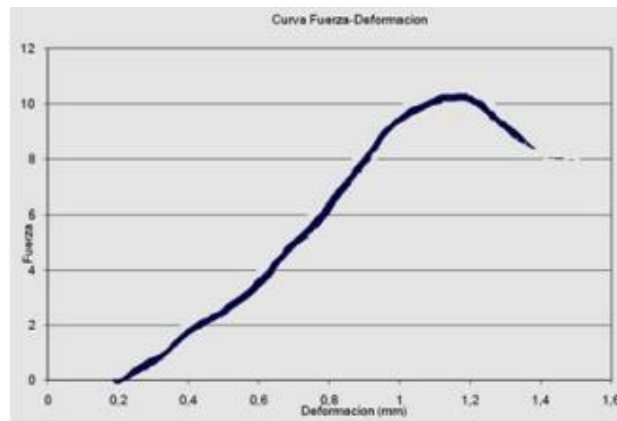
determinó en 21,1 N como el promedio del fallo de los 20 huesos, un módulo de elasticidad de 3,75 GPa. (Jämsä, Jalovaara, Peng, Väänänen, & Tuukkanen, 1998)



Grafica 4. Representación de resultados de pruebas de flexión al hueso del ratón. **Fuente:** (Jämsä, Jalovaara, Peng, Väänänen, & Tuukkanen, 1998). La grafica muestra una comparación que hicieron los desarrolladores del articulo entre el hueso de la tibia y el fémur de los mismos especímenes. Se identifica una superioridad en la resistencia de la tibia sobre el fémur el cual obtuvo un valor promedio de 19.9 N de fuerza aplicada para la flexión y un módulo de elasticidad 1,92 GPa. Sin embargo, la correlación de los resultados es mínimamente mayor a la de la tibia.

### 3.2.2.1.3. Resistencia a la compresión:

Al igual que para la prueba a impacto, para la medición de la resistencia a la compresión se hizo uso de huesos provenientes de perros. El muestreo fue de 30 animales de diferentes tallas y edades. La preparación de los huesos se hizo retirando la parte blanda de los huesos, es decir, se retiraron las epífisis y se usó solo la diáfisis del hueso, se dimensionó de tal manera que la relación de altura fuera igual al diámetro extraídas de la misma diáfisis. El valor promedio de fuerza aplicada para el ensayo de compresión fue de 10,61 KN y una deformación media de 1,40mm. (Fessia, y otros, 2016)



a)

b)

a). *Grafica 5. de la Curva Fuerza vs Deformación de un hueso de perro sometido a compresión.* En esta grafica se identifica una región amplia en la cual el hueso tiene un comportamiento elástico el cual tiene como limita aproximadamente cuando la carga aplicada es de 10 KN. b). *Imagen 2. del montaje del ensayo para la compresión de la parte central de la diáfisis de la tibia del perro.* **Fuentes:** (Fessia, y otros, 2016).

### 3.2.3. Procesos De Preparación Del Hueso Para La Mezcla.

#### 3.2.3.1. Corte del hueso del bovino.

El hueso de la tibia, escogido como aquel posible material de reemplazo con el fin analizar su comportamiento en la mezcla de concreto, no se utiliza en su totalidad, puesto que las partes superior e inferior correspondientes a las epífisis que están compuestas en su mayoría por tejidos que caracterizan esta extremidad del hueso como un material trabecular, y el cual posee medula ósea en su interior (Vidal, 2014). Debido al tejido esponjoso que se presenta y al cartílago que está ubicado contiguo, la epífisis posee un comportamiento más plástico que elástico debido a la densidad que este tipo de hueso posee, la cual es directamente proporcional a la porosidad de este mismo. La densidad aproximada del hueso esponjoso esta alrededor de  $0,8\text{g/cm}^3$ , mientras que, por otro lado, la densidad de un hueso compacto se encuentra en  $1,8\text{g/cm}^3$ . (Sanzana Salamanca, 2004). Debido a esto, para este trabajo de investigación, la parte trabajada del hueso correspondió a la parte denominada diáfisis, la cual es la parte compacta del hueso. Con ayuda de una sierra circular que se opera mecánicamente se removieron las epífisis dejando solo la parte

central del hueso. La manipulación de la sierra la hace la persona dueña de la maquina con el fin de evitar problemas de mal uso y/o posibles daños.

### 3.2.3.2.Limpieza del hueso del bovino.

La limpieza de los huesos se hace con el fin de remover la materia orgánica, en este caso, la carne adherida al hueso, que se considera moléculas residuales de seres vivos (Ucha, 2012) y la medula ósea presente al interior de los huesos largos. Este tipo de medula ósea presente al interior de los huesos está compuesto por células de grasa (Mandal, 2012) y la cual tiene como función principal el almacenamiento de esta. La eliminación de la materia orgánica se realiza con el fin de que esta, no afecte negativamente en los resultados alterando la resistencia del concreto o el fraguado. Este tipo de material orgánico se presenta en la mayoría de los casos en el agregado fino (López, 2000). Para este caso, la limpieza y/o remoción de la materia orgánica (Carne y medula ósea) el procedimiento a realizar consiste en la extracción de la medula ósea sometiendo el hueso a agua caliente con el fin de debilitar esa grasa, la cual, en muchos casos, debido a que el material es expuesto al oxígeno, se endurece y dificulta la extracción. El hueso se somete solo a máximo 5 ó 10 minutos al agua hervida con el fin de que la extracción de la grasa se facilite, también este proceso de calentamiento ayuda para que la carne adherida al hueso se debilite y así con ayuda de un cuchillo se pueda remover y algunos cartílagos presentes en el hueso a tal punto de dejar el hueso sin presencia de carne. Este proceso se dificulta en la medida en que no todos los huesos se pueden limpiar completamente debido a que existen cartílagos adheridos al hueso que no pueden ser eliminados en su totalidad pues la forma que puede presentar el hueso no facilita el acceso para la remoción.

### 3.2.3.3.Trituración del hueso.

El procedimiento realizado después de la limpieza de los huesos consiste en la trituración de este. La trituración para el trabajo de investigación se realizó de forma manual, con

ayuda de un mazo. Los huesos eran dispuestos en el suelo, cubiertos previamente por una manta, con el fin de que no se produjera una pérdida del material triturado ni tampoco que se produzca, posiblemente, un ensuciamiento o afectación del material por el suelo en el que se está llevando a cabo el proceso de trituración. Se golpeaban los huesos con ayuda del mazo a tal punto de obtener partículas que a simple vista no sobrepasaran el tamaño de 1 pulgada (1 in) puesto que ese tamaño se estableció como el tamaño máximo de las partículas con el cual se realizó el diseño de mezcla. Posterior a la trituración principal, se realizó un tamizado con el uso de los respectivos equipos de laboratorio con el fin último de lograr que el tamaño de la partícula no estuviera fuera del rango con el cual se define un agregado grueso, la cual establece como agregado grueso a partículas retenidas sobre el tamiz de 4,75mm o tamiz #4 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1999) Para este caso el rango se estableció entre 1 pulgada y 4,75mm.



*Imagen 3: Estado del hueso después de la trituración. Fuente: Propia*

#### 3.2.3.4. Purificación del hueso





La limpieza del hueso, en la cual se removía la carne y la medula ósea, no era suficiente para que el hueso quedara totalmente exento de material orgánico puesto que principalmente en cuanto a la medula ósea presente en la cavidad del hueso, no era posible

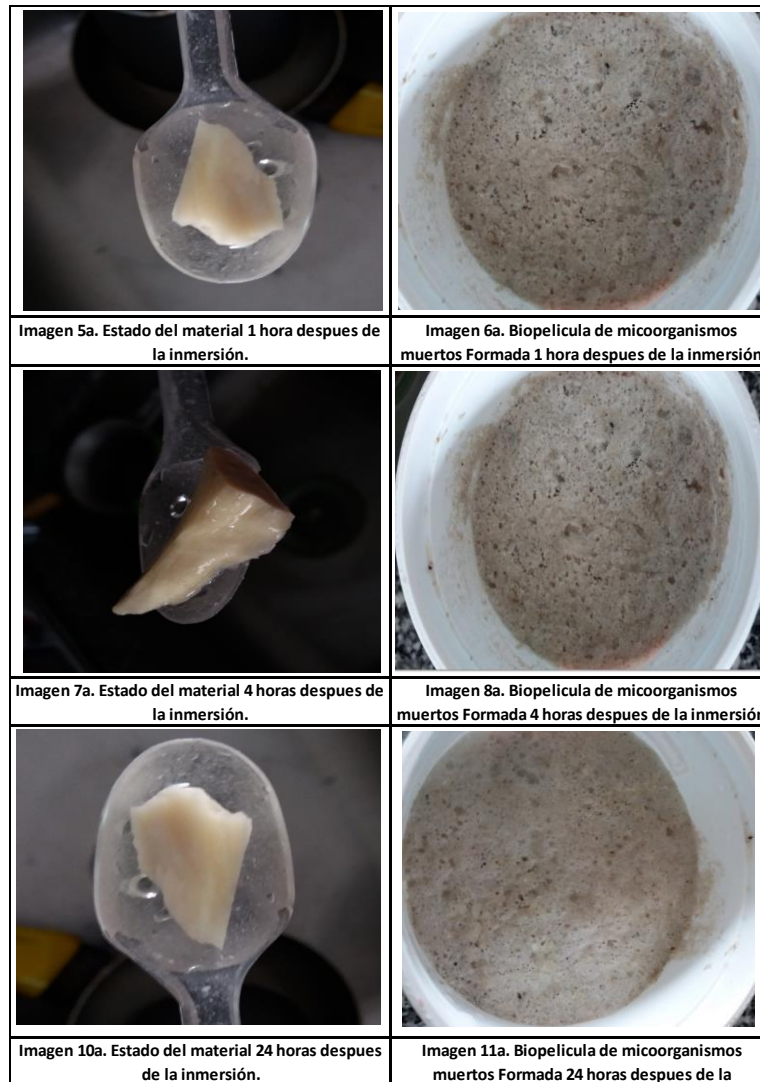
remover la totalidad de estas células de grasa. Este proceso, denominado por los autores, purificación del hueso consiste en la exposición del hueso al cloro. El cloro al tener la función de desinfectante elimina todo microorganismo que siga presente después de la trituración, también elimina la materia orgánica (Saldaña & Anduaga, 2005) presentes en el hueso para que este quede con la cantidad mínima posible de material orgánico que pueda afectar la mezcla de concreto. El procedimiento que se posterior constó de la colocación de 500 gr del material triturado en un recipiente grande, se vertió una cantidad de cloro suficiente para que todo el material quedara sumergido en la sustancia. El tiempo de exposición del material al cloro fue de 20 minutos a lo máximo, este rango de tiempo fue definido a partir de una prueba empírica definida por los autores que constaba en dejar la muestra de 500 gr inmersa en cloro y a partir de la observación cada 10 minutos durante una hora y luego cada hora durante 5 horas y luego rangos de observación de cada 4 horas en 24 horas (ver imagen de la 1a a la 11a), al analizar la muestra extrayendo una de las partículas trituradas con parámetros como el tacto, el olor y apariencia, transcurrido cada periodo de tiempo descrito anteriormente, se observó la creación de una biopelícula formada por los microorganismos muertos (ver imagen 2) y al analizar la muestra a partir de los parámetros definidos anteriormente no se observó alteración significativa, y con ello se concluyó que el rango optimo en cuestión de ahorro de tiempo entre los procesos, creación de la biopelícula orgánica, conservación del grosor de la misma y purificación es de 20 minutos. La muestra se ve afectada puesto que el cloro al funcionar como un reactivo fuerte puede afectar directamente a las propiedades del hueso o a la composición. Durante la exposición se generó una capa de espuma producto de la desinfección del hueso definida anterior mente como biopelícula de microorganismos orgánicos muertos, también el material expulso un olor que se describe como la mezcla del olor de carne que puede seguir teniendo el hueso y el olor característico del cloro. La capa de espuma y el olor son directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica presente. En algunas ocasiones, la capa de espuma no sobrepasaba los 2 cm de espesor, mientras que en algunos casos alcanzaba un espesor de más de 6 cm. Esto se dedujo debido al olor que antes de la purificación expulsaba el hueso por las partículas de carne y la medula ósea que no podían ser removidas en el proceso de limpieza del material. Por la exposición al cloro, el material

podía obtener un PH alcalino (ver imagen 19); parte del material ya purificado se llevó a una prueba de laboratorio con el cual se medía el PH del material con el fin de identificar cual era el grado de acidez del hueso después de expuesto a la sustancia de desinfección.



Imagen 5: Estado del hueso después de la exposición del material al cloro. **Fuente:** Propia

FOTOGRAFÍAS PROCESO DE DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE INMERSIÓN DEL MATERIAL EN CLORO - PROCESO DE PURIFICACIÓN.			
FECHA	13/08/2017	FUENTE	Propia - Celular Jhon Echeverry Arias
		Imagen 1a. Estado del material 10 minutos después de la inmersión.	Imagen 2a. Biopelícula de microorganismos muertos Formada 10 minutos después de la
		Imagen 3a. Estado del material 20 minutos después de la inmersión.	Imagen 4a. Biopelícula de microorganismos muertos Formada 20 minutos después de la



### 3.2.3.5. Determinación del Ph en la muestra del hueso.

A causa del mal olor producido por la muestra luego de un periodo de inmersión de 24 horas en agua para proceder a hacer un laboratorio de caracterización, los autores definieron luego de una investigación y de asesoramiento por parte de un ingeniero químico y ambiental que conocen sobre el tema en cuestión; afirmaban que la procedencia de este olor provenía de las micropartículas orgánicas que se encontraban en los vacíos o porosidades del hueso pues a pesar de ser un hueso cortical y compacto este posee un pequeño número de vacíos y es ahí donde se alojan estas micropartículas orgánicas de

tejidos grasos, de carne y/o sangre, por ende se propuso el proceso de purificación; pero este generaba a su vez una inquietud sobre qué tan ácido o alcalino se encontraría el hueso triturado para poderlo utilizar en la mezcla de concreto pues este debe cumplir un rango de 5.5 a 8.5 puntos de Ph (Referencia 2).

A continuación, se procede a realizar las pruebas del pH para el triturado del hueso, La muestra que constaba de 500 gr de hueso triturado se dejó inmerso a las 8:56 am y se retiró a las 9:56 am es decir habiendo transcurrido una hora pues se quería garantizar una mayor absorción del cloro por parte del hueso esto definido por los autores luego del laboratorio hecho donde se definió el intervalo de tiempo óptimo de inmersión de la muestra en el cloro.





<b>PRUEBA PH DEL HUESO TRITURADO LUEGO DEL PROCESO DE PUREFICACIÓN</b>								
<b>AUTORES</b>		ARDILA BARRETO JORGE SEBASTIAN			<b>PROYECTO DE GRADO</b>	MODIFICACION DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CONVENCIONAL A PARTIR DEL USO DEL TRITURADO DE HUESO COMO AGREGADO GRUESO PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.		
		ECHEVERRY ARIAS JHON BAWINN			<b>DOCENTE</b>	MORA SAMACA JAIME IVAN		
<b>FECHA</b>	18/08/2017	<b>PROCESO</b>		No1	<b>RESULTADO</b>		Exitoso	
<b>TIEMPO INICIAL</b>		8:56 a. m.	<b>TIEMPO FINAL</b>		9:56 a. m.	<b>TIEMPO TRANSCURRIDO</b>		1 hora
<b>DESCRIPCIÓN</b>		Se midió el pH de las siguientes 4 muestras descritas a continuación con el lector de pH (pHmetro) y la cinta tornasol						
<b>MUESTRA 1</b>		<b>MUESTRA 2</b>		<b>MUESTRA 3</b>		<b>MUESTRA 4</b>		
<b>FUENTE</b>	Propia	<b>FUENTE</b>	Propia	<b>FUENTE</b>	Propia	<b>FUENTE</b>	Propia	
<b>No IMAGEN</b>		<b>No IMAGEN</b>		<b>No IMAGEN</b>		<b>No IMAGEN</b>		
<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>		<b>4</b>		
<b>PESO</b>	200 g	<b>PESO</b>	200 g	<b>PESO</b>	200 g	<b>PESO</b>	200 g	
<b>NOMBRE</b>		<b>NOMBRE</b>		<b>NOMBRE</b>		<b>NOMBRE</b>		
<b>COLOR</b>		<b>LAVADO 1</b>		<b>LAVADO 2</b>		<b>LAVADO FIN</b>		
<b>CONTENIDO</b>		<b>CONTENIDO</b>		<b>CONTENIDO</b>		<b>CONTENIDO</b>		
Cloro utilizado en el proceso de purificación bajo la capa de materia orgánica muerta		Agua del primer lavado que consto de 2 litros de agua		Agua del segundo lavado que consto de 2 litros de agua		Agua del tercer lavado o final que consto de 2 litros de agua		
<b>pHmetro</b>	8.4	<b>pHmetro</b>	8.6	<b>pHmetro</b>	7.3	<b>pHmetro</b>	7	
<b>Cinta Tornasol</b>	6 - 7	<b>Cinta Tornasol</b>	6 - 7	<b>Cinta Tornasol</b>	7 - 3	<b>Cinta Tornasol</b>	8 - 9	
<b>CLASIFICACIÓN</b>	ALCALINO	<b>CLASIFICACIÓN</b>	ALCALINO	<b>CLASIFICACIÓN</b>	ALCALINO	<b>CLASIFICACIÓN</b>	ALCALINO	

Tabla 35. Prueba pH del hueso Triturado. Fuente: propia.

Se procedió a analizar cuatro muestras cada una con una característica diferente, la muestra 1 constaba del cloro que se utilizó durante una hora para la purificación del hueso habiendo retirado la biopelícula de microorganismos orgánicos muertos; la muestra 2 constaba del agua resultante luego del primer lavado que consto de 2 litros de agua, la muestra 3 era el agua



resultante de un segundo lavado que constaba de 2 litros de agua y por último la muestra 4 era el agua resultante de un lavado final que consto de 3 litros de agua, con las 4 muestras cada una vertida en un recipiente se llevaron al laboratorio de química de la Universidad Piloto de Colombia para realizar las pruebas del pH a partir del instrumento necesario (medidor de pH) y cinta tornasol los resultados obtenidos para cada una de las muestras son los descritos en la anterior tabla, teniendo como resultado principal que los niveles de pH de cada muestra están dentro de los rangos de tolerancia que debe tener el agua de los agregados.

#### 3.2.4. Concreto Modificado con Triturado de Hueso de Res.

##### 3.2.4.1. Diseño De Mezcla.

Después de la caracterización de los agregados finos y de los agregados gruesos junto con el material de reemplazo, se procedió a realizar el diseño de mezcla con el cual se van a obtener las diferentes proporciones de materiales para la fundición de los cilindros. Se realizaron 2 tipos de diseños, la primera correspondía al diseño de mezcla para la fundición de los cilindros de concreto convencional, es decir, sin material de reemplazo, con el cual podemos hacer una diferenciación de resultados para el análisis comparativo del concreto con y sin material de reemplazo, además, se realizó este primer diseño de concreto convencional con el fin de familiarizarnos con el proceso de fundición y con el propósito de que la mezcla de concreto sin material de reemplazo obtenga la resistencia de diseño que se propone inicialmente. El segundo diseño se obtuvo ya teniendo como referencia la caracterización del agregado grueso de reemplazo. Para esta segunda mezcla se determinaron las proporciones a partir del porcentaje de material de modificación, en este caso el hueso, es decir, se obtuvieron las cantidades de material necesario para la fundición de los respectivos cilindros con un porcentaje de reemplazo del agregado grueso de 10%, 20% y 30%. Esto con el fin de identificar cuál de estos 3 porcentajes de reemplazo se

adecua a la mezcla de concreto siempre buscando mejorar o igualar la resistencia con la cual se calculó el diseño.

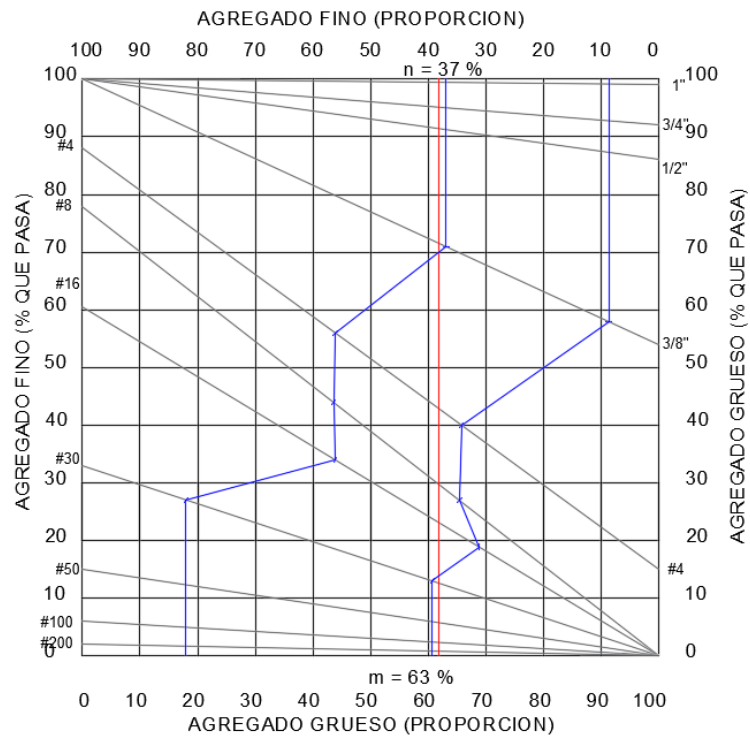
Los diferentes procedimientos se obtuvieron a partir de la metodología descrita en el libro Tecnología del Concreto y del Mortero escrito por Diego Sánchez de Guzmán en 1987 en el cual establece dos metodologías por las cuales se puede determinar las cantidades o proporciones para el diseño de mezcla de concreto. Para este trabajo de investigación se desarrolló el diseño por el método grafico el cual tiene como referencia una curva de gradación recomendada. No se utilizó la metodología A.C.I 211 pues este método se usa cuando los agregados están bien gradados y son considerados como Agregados Controlados los cuales tienen estrictos estándares de calidad y son producidos en planta que realizan este tipo de controles (Guzmán, 2001). Para este caso, el agregado tanto fino como grueso se adquirió en una ferretería, por lo cual, la procedencia de este agregado no es conocida ni tampoco es sabido si el material tiene controles de calidad. Por esto se seleccionó el método grafico como el adecuado para realizar el diseño, tanto para el concreto sin material de reemplazo como para el concreto con 3 diferentes porcentajes de material de reemplazo con hueso triturado.

Durante el procedimiento, fue necesario escoger algunos valores de tablas especificadas en el libro Tecnología del Concreto y del Mortero:

- a) **Selección del Asentamiento:** Se selecciono un asentamiento dentro el rango de 50-100 milímetros.
- b) **Selección del Tamaño Máximo del Agregado:** Tamaño máximo del agregado: 1 Pulgada (1in). El tamaño máximo del agregado se seleccionó previamente a la elaboración del diseño de mezcla puesto que era necesario cumplir con un parámetro importante de la Norma Técnica Colombiana (NTC) – 1377. Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayos de Laboratorio, numeral 4.4 donde se especifica el tamaño del espécimen de acuerdo con el tamaño del agregado. Ahí establece que el tamaño mínimo del espécimen tiene que ser 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado. Siendo el tamaño máximo del agregado escogido 1 pulgada (1 in), el tamaño máximo nominal es menor que el tamaño

máximo del agregado por lo cual se cumpla lo especificado por la norma debido a que el tamaño del espécimen es de 4 pulgadas x 8 pulgadas (10cm x 20cm).

- c) **Estimación del Contenido de Aire:** Este concreto no va a tener aire incluido, por lo cual contendrá aire naturalmente atrapado. De acuerdo con esta especificación y según el tamaño máximo nominal del agregado que es de 1/2”.
- d) **Estimación del Contenido de Agua de Mezclado:** De acuerdo con el asentamiento escogido, a el tamaño máximo del agregado y la forma que presenta este agregado natural, al igual que la presencia de aire naturalmente atrapado, se selecciona al contenido requerimiento de agua para la mezcla. Para este caso, con un asentamiento de 100 mm, un tamaño máximo del agregado de 1 pulgada (1 in) y una forma que presenta el agregado que se caracteriza por poseer una forma **angular y textura rugosa** se lee un valor de 192 Kg/m<sup>3</sup>
- e) **Determinación de la Resistencia de Diseño:** Para este paso, solamente se estableció la resistencia a compresión del diseño de mezcla en 21 MPa ó 3000 Psi.
- f) **Selección de la Relación Agua-Cemento:** Este valor también se seleccionó por criterio propio al igual que la resistencia de diseño. Para este valor se tuvo en cuenta que se necesitaba una relación agua-cemento baja para que la resistencia sea mayor, pero se necesitaba a la vez un valor que proporcionara manejabilidad, por lo cual se estableció una relación agua-cemento de 0.4.
- g) **Calculo del Contenido de Cemento:** Este valor se obtiene de la división del contenido de agua de mezclado y la relación agua-cemento. En este caso, el contenido de agua de mezclado es de 192 Kg/m<sup>3</sup> y la relación agua-cemento se estableció en 0,4; por lo cual el valor del contenido de cemento corresponde a 480 Kg para 1m<sup>3</sup> de concreto.



Grafica 6. Porcentaje de Agregado Grueso y Fino Destinado para la Mezcla de Concreto.

- h) **Estimación de las Proporciones de Agregados:** Para obtener las debidas proporciones de agregados, se utilizó el método grafico puesto que como se había aclarado, la procedencia del agregado es desconocida por lo cual se considera un Agregado No Controlado y Desconocido. En la gráfica 6 se muestran los porcentajes de agregado grueso y agregado fino correspondiente a la mezcla de concreto con la cual se describe que el 63% del agregado total usado para la mezcla es agregado grueso natural y el 37% se destina para el agregado fino de la mezcla.
- i) **Ajuste por Humedad en los Agregados:** Se realizan las respectivas correcciones por humedad natural de los agregados puesto que poseen cierta humedad que está presente y que puedan alterar de cierta manera las proporciones que se necesitan de los materiales al momento de realizar el proceso de fundición. Los valores de humedad, absorción y demás se encuentran en la caracterización de los agregados en donde se establecieron las densidades, pesos secos, pesos húmedos, entre otros.

### 3.2.4.1.1. Proporciones y cantidades Concreto Convencional

<i>Pesos Totales y Volúmenes Absolutos</i>			
<i>Material</i>	<i>Peso Seco</i>	<i>Peso Específico</i>	<i>Volumen Absoluto</i>
	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>g/cm<sup>3</sup></i>	<i>l/m<sup>3</sup></i>
Cemento	480,0	3,0	158,9
Agua	192,0	1,0	192,0
Ag. Grueso	997,9	2,52	396,0
Ag. Fino	586,1	2,57	228,1

*Tabla 1. Peso Seco, Gravedad Especifica y Volumen Absoluto por 1 Metro Cubico de Concreto Convencional.*

<i>Cantidades De Materiales por Metro Cubico De Concreto</i>	
<i>Material</i>	<i>Cantidad (Kg)</i>
Agua	221,2 kg
Ag. Grueso	981,8 kg
Ag. Fino	573,9 kg
Cemento	480,0 kg

*Tabla 2. Cantidades de Materiales Necesarios para la Fundición de 1m<sup>3</sup> de Concreto Convencional. Se muestran los valores ya después de hacer las correcciones por humedad.*

**NOTA:** La densidad del hueso se obtuvo acorde con lo estipulado por norma igual al proceso del ensayo de densidad de agregado grueso. Ver tabla 28.

La cantidad de materiales presentes en la tabla 2 corresponden a las dosificaciones necesarias para realizar la mezcla de 1 metro cubico de concreto, sin embargo, el volumen de los cilindros propuestos para este trabajo de investigación solo correspondía al 20% de un metro cubico de concreto, por lo cual se procedió a realizar una equivalencia teniendo en cuenta la cantidad de concreto que la totalidad de los cilindros a fundir abarcaba.

Se realizó el mismo procedimiento para hallar las cantidades de materiales para la fundición de 1m<sup>3</sup> de concreto con el material de reemplazo que en este caso es hueso triturado teniendo en cuenta a la vez los porcentajes de reemplazo del agregado grueso. La diferencia del procedimiento realizado para la mezcla de concreto con material de reemplazo con respecto a la del concreto convencional radica en que el total del agregado grueso se tiene que dividir con respecto a los porcentajes de reemplazo en el material de

hueso triturado y el material de agregado natural, es decir, después de obtenido el peso total del agregado fino y agregado grueso, el peso correspondiente al agregado grueso multiplicara respectivamente con los porcentajes deseados de reemplazo para, de esta manera, hallar el peso correspondiente de hueso triturado y agregado grueso natural equivalente al peso total del agregado grueso para después de este paso realizar las correcciones por humedad.

A continuación, se muestran las tablas correspondientes de cantidades de materiales necesarias para la fundición del concreto tanto convencional como modificado con sus respectivos porcentajes de reemplazo del agregado grueso natural.

### 3.2.4.1.2. Proporciones y Cantidades Concreto Modificado Con 10% De Agregado Grueso De Hueso Triturado Y 90% De Agregado Grueso Natural.

<b>Pesos Totales y Volúmenes Absolutos</b>			
<i>Material</i>	<i>Peso Seco</i>	<i>Peso Específico</i>	<i>Volumen Absoluto</i>
	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>g/cm<sup>3</sup></i>	<i>l/m<sup>3</sup></i>
Cemento	480,0	3,020	158,9
Agua	192,0	1,0	192,0
Ag. Natural	940,1	2,520	373,0
Ag. Hueso T.	104,5	1,811	57,7
Ag. Fino	586,1	2,570	228,1

Tabla 3. *Peso Seco, Gravedad Especifica y Volumen Absoluto por 1 Metro Cubico de Concreto Modificado con 10% de Agregado Grueso de Hueso Triturado*

<b>Cantidades de Materiales por Metro Cubico De Concreto Modificado</b>	
<i>Material</i>	<i>Cantidad (Kg)</i>
Agua	195,7 kg
Ag. Natural	936,6 kg
Ag. Hueso T.	83,6 kg
Ag. Fino	611,5 kg
Cemento	480,0 kg

Tabla 4. *Cantidades de Materiales Necesarios para la Fundición de 1m<sup>3</sup> de Concreto Modificado con 10% de Hueso Triturado. Se muestran los valores ya después de hacer las correcciones por humedad.0*

3.2.4.1.3. Proporciones y Cantidades Concreto Modificado Con 20% De Agregado Grueso De Hueso Triturado Y 80% De Agregado Grueso Natural.

<b><i>Pesos Totales y Volúmenes Absolutos</i></b>			
<i>Material</i>	<i>Peso Seco</i>	<i>Peso Específico</i>	<i>Volumen Absoluto</i>
	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>g/cm<sup>3</sup></i>	<i>l/m<sup>3</sup></i>
Cemento	480,0	3,020	158,9
Agua	192,0	1,0	192,0
Ag. Natural	867,1	2,520	344,1
Ag. Hueso T.	216,8	1,811	119,7
Ag. Fino	586,1	2,570	228,1

Tabla 5. *Peso Seco, Gravedad Especifica y Volumen Absoluto por 1 Metro Cubico de Concreto Modificado con 20% de Agregado Grueso de Hueso Triturado*

<b><i>Cantidades de Materiales por Metro Cubico De Concreto Modificado</i></b>	
Agua	223,5 kg
Ag. Natural	863,9 kg
Ag. Hueso T.	173,4 kg
Ag. Fino	611,5 kg
Cemento	480,0 kg

Tabla 6. *Cantidades de Materiales Necesarios para la Fundición de 1m<sup>3</sup> de Concreto Modificado con 20% de Hueso Triturado. Se muestran los valores ya después de hacer las correcciones por humedad.*

3.2.4.1.4. Proporciones y Cantidades Concreto Modificado Con 30% De Agregado Grueso De Hueso Triturado Y 70% De Agregado Grueso Natural.

<b><i>Pesos Totales y Volúmenes Absolutos</i></b>			
<i>Material</i>	<i>Peso Seco</i>	<i>Peso Especifico</i>	<i>Volumen Absoluto</i>
	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>g/cm<sup>3</sup></i>	<i>l/m<sup>3</sup></i>
Cemento	480,0	3,020	158,9
Agua	192,0	1,0	192,0
Ag. Natural	786,3	2,520	312,0
Ag. Hueso T.	337,0	1,811	186,1
Ag. Fino	586,1	2,570	228,1

Tabla 7. *Peso Seco, Gravedad Especifica y Volumen Absoluto por 1 metro cubico de concreto modificado con 30% de agregado grueso de Hueso Triturado*

<b>Cantidades de Materiales por Metro Cubico De Concreto Modificado</b>	
Agua	253,2 kg
Ag. Natural	783,3 kg
Ag. Hueso T.	269,6 kg
Ag. Fino	611,5 kg
Cemento	480,0 kg

Tabla 8. Cantidades de Materiales Necesarios para la Fundición de 1m<sup>3</sup> de Concreto Modificado con 30% de Hueso Triturado. Se muestran los valores ya después de hacer las correcciones por humedad.

### 3.2.5. Fundición Y Curado De Cilindros

El número de cilindros que se fundieron por cada porcentaje de reemplazo y por cada edad de ensayo se estipuló de acuerdo con la norma NTC-1377 Numeral 4.5 en donde establece que el número mínimo de cilindros por cada edad de ensayo es 3. Para esta investigación, se estipularon 108 cilindros distribuidos de la siguiente manera:

<b>MUESTRAS DE LABORATORIO PARA LOS DIFERENTES DISEÑO DE MEZCLA</b>	
CANTIDAD DE MUESTRAS	EDAD DE ENSAYO
9	7 días
9	14 días
9	28 días

Tabla 9. Cantidades de especímenes de concreto de 6" para los diseños de mezcla. (Se incluyen los diseños de mezcla con los diferentes porcentajes de agregado de hueso triturado).

El número de cilindros por cada día de ensayo y por cada porcentaje se estableció en 9 especímenes por motivos de posibles desviaciones que se pudieran presentar a la hora de obtener los resultados de la resistencia a la compresión.

Se procedió en primera medida a fundir los cilindros del concreto convencional con la finalidad de tener claridad sobre la metodología necesaria para el proceso. Los primeros fallos de los cilindros también correspondieron a aquellas muestras de la mezcla sin material de reemplazo debido a la necesidad de determinar si la resistencia de diseño se logró alcanzar a través del diseño de mezcla obtenido. Todas las fundiciones de los cilindros se hicieron basado en la norma NTC-1377 donde se especifica la manera adecuada para la elaboración de muestras de concreto para ensayos de laboratorio.





*Imagen 6. Cilindro de Concreto con 20% de Hueso Triturado. Fuente: Propia.*

El procedimiento de la mezcla de los materiales consiste, basado en la norma, en agregar en primer lugar el agregado grueso y una parte del agua necesaria. La mezcladora se pone en operación para luego adicionar el agregado fino y el cemento, después de un rato se coloca el resto del agua. Cuando los materiales se hayan añadido completamente, la mezcladora se pone a funcionar durante 3 minutos, luego se detiene durante otros 3 minutos y luego se vuelve a mezclar durante 2 minutos más. La medición del asentamiento también se realizó, conforme a la norma NTC-396, para confirmar que la medida estipulada en el diseño de mezcla corresponda a la medida de la mezcla, la cual estaba entre el rango de 50-100 milímetros. La mezcla se vertió en 3 capas, apisonando cada capa con 25 golpes usando la varilla y golpeando cada capa con el mazo. Después de las 3 capas, se enrasó la superficie con una capa delgada de pasta de cemento y con ayuda de un palustre.

El desencofrado de los moldes se hizo también conforme a la norma la cual estipula que se tiene que realizar el desencofre de los cilindros 24 Horas +/- 8 Horas después de la fundida.



*Imagen 7. Desencofrado de los cilindros de concreto. Fuente: Propia.*

No se encontraron anomalías en los cilindros fundidos tanto del concreto convencional, como de la mezcla de concreto modificado. La textura era lisa, con una porosidad mínima o nula en la mayoría de los casos, el olor de la mezcla de concreto convencional era nulo, sin embargo, se notaba un olor característico del cloro en los cilindros que poseían un grado de agregado de hueso triturado. Inmediatamente después de desencofrar las muestras, se ponían en curado dentro de una piscina del laboratorio. Para este proceso se llenó la piscina de agua, se mezcló con cal utilizando 3 gramos por cada litro de agua y se introdujeron los cilindros durante el periodo estipulado para cada muestra.



*Imagen 8. Curado de especímenes de concreto con 30% de hueso triturado de reemplazo como agregado grueso. Fuente: Propia.*

### 3.2.6. Ensayo De Compresión De Cilindros

Los ensayos para determinar la resistencia a la compresión de los diferentes cilindros se realizaron con base en la norma NTC-673. Para todos los cilindros se calculó un diámetro y una altura promediando 3 datos de cada medición con ayuda de un calibrador digital. A cada cilindro se le obtuvo el peso para después hacer el respectivo montaje del cilindro en la maquina compresora. Para el montaje, se usaron anillos de retención en el cilindro en la parte superior e inferior para sujetarlo y se ubicó en el centro de la placa de la maquina con el objetivo de evitar una carga excéntrica al cilindro que pueda alterar los resultados de la resistencia a la compresión.



*Imagen 9. Montaje del Cilindro de Concreto con 10% de Agregado de Hueso Triturado.*

Los resultados del tiempo y la carga que la maquina iba aplicando se mostraban en un software el cual arrojaba la gráfica correspondiente de la muestra. Después de llegar al

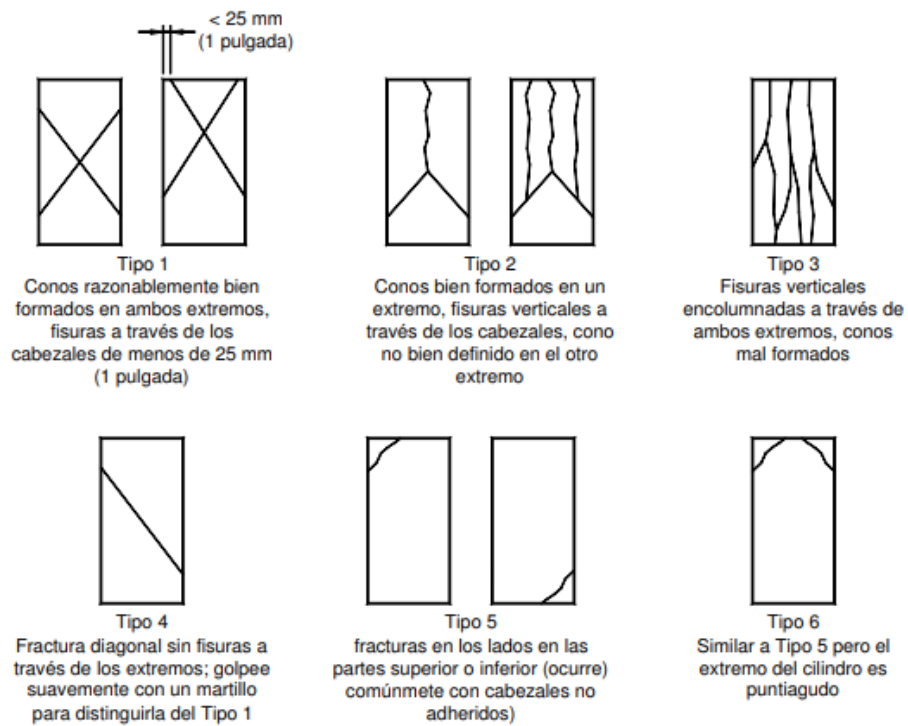
punto de fallo del cilindro, se registraba la carga máxima aplicada, la forma de fallo de cilindro y se evidenciaba el comportamiento del agregado en la mezcla de concreto, es decir, se analizaba la adherencia del nuevo material al concreto.



*Imagen 10. Forma de la Falla Transversal de un Cilindro con 30% de Agregado de Hueso Triturado. Fuente: Propia.*

### 3.2.6.1. Tipos De Fallas De Los Cilindros A Compresión:

Varios fueron los tipos de fallas que se obtuvieron después de haber fallado la totalidad de los cilindros de concreto, incluyendo los que poseían hueso de vaca triturado. Todas las fallas se clasificaron dentro de los tipos de fallas que están descritas dentro de la Norma Técnica Colombiana 673 las cuales corresponden a las siguientes:



*Imagen 11: Tipos de fallas típicos para los cilindros a compresión. Obtenida de: (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2010)*

#### 4. RESULTADOS.

##### 4.1.Resultados A Compresión De Los Cilindros De Concreto Convencional.

##### 4.1.1. Cilindros De Concreto Convencional (7 Días).

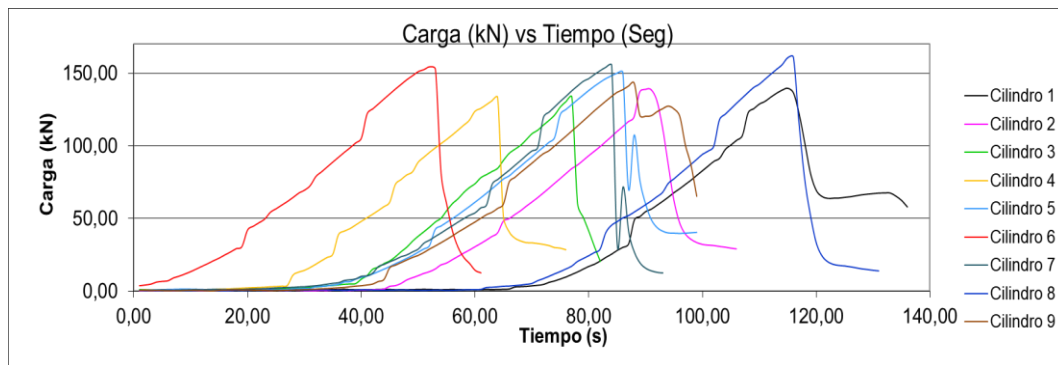
La primera medida a tomar correspondió sobre la fundición y el fallo de los cilindros de concreto sin ningún porcentaje de modificación, esto con el fin de comprobar que el diseño de mezcla calculado sea el adecuado para obtener la resistencia a la compresión y para evitar que los resultados de las mezclas de concreto para los demás cilindros con triturado de hueso no se vean afectados por un mal diseño de mezcla. Se realizaron 27 cilindros del concreto convencional, 9 cilindros para cada edad de ensayo (7, 14, 28 días).

Resultados de ensayo									
No. Del Cilindro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Peso (kg)</b>	3,76	3,78	3,66	3,76	3,72	3,78	3,8	3,82	3,78
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2.267	2.269	2.216	2.279	2.259	2.288	2.272	2.287	2.292
<b>Altura (mm)</b>	203	202,7	202,9	203,1	203,1	203	204,3	204	203,8
<b>Diámetro (mm)</b>	102	102,3	101,8	101,7	101,6	101,8	102,1	102,1	101,5
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	8171	8219	8139	8123	8107	8139	8187	8187	8091
<b>Edad (días)</b>	7	7	7	7	7	7	7	7	7
<b>Carga (kN)</b>	139,70	138,90	202,20	133,50	150,30	154,30	155,30	161,10	143,20
<b>Resistencia Real (MPa)</b>	17,10	16,90	24,84	16,43	18,54	18,96	18,97	19,68	17,70
<b>Desarrollo</b>	81,03	80,09	117,74	77,89	87,86	89,85	89,90	93,25	83,88
<b>Tipo de Falla</b>	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Tabla 10. Datos de cilindros de concreto convencional fallados a los 7 días

La tabla anterior representa los datos generales de los 9 cilindros de concreto convencional con una edad de fallo de 7 día. Durante la prueba de compresión, la maquina usada iba registrando el tiempo de duración y la carga que se iba ejerciendo sobre el cilindro, proyectando una gráfica para cada cilindro fallado relacionando la carga aplicada vs el tiempo de duración del ensayo. Las cargas ejercidas sobre los 9 cilindros estuvieron dentro del rango de los 133 kN (Cilindro #4) hasta 202 kN (Cilindro #9) representando, a partir del área de los cilindros, un desarrollo entre el 76% y el 115% con respecto a la resistencia a la

compresión del concreto. De acuerdo con los resultados obtenidos a los 7 días, uno de los cilindros alcanzó una resistencia a la compresión de 24 MPa lo cual superaba la resistencia con la cual se diseñaron los cilindros, siendo 21 MPa la resistencia que se deseaba obtener a los 28 días. En promedio se alcanzó una resistencia de 19 MPa.



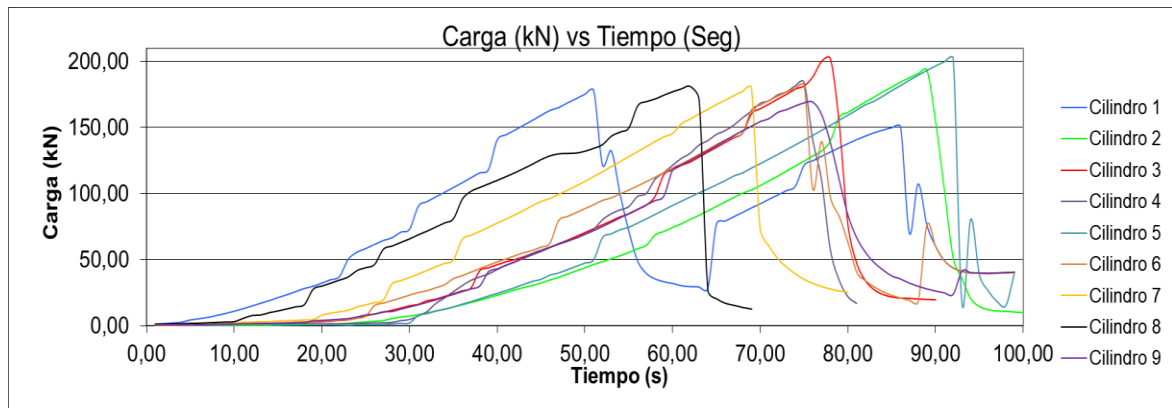
Grafica 7. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto convencional con edad de 7 días. **Fuente:** Propia

Para el caso de los cilindros de concreto convencional a los 7 días, los cilindros registraron tipos de fallas correspondientes al tipo 5 ver imagen 13. No se evidencio segregación de los agregados, y se registró una buena adherencia de los agregados en la mezcla.

#### 4.1.2. Cilindros De Concreto Convencional (14 Días).

Resultados de ensayo									
No. Del Cilindro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Peso (kg)</b>	3,74	3,76	3,74	3,8	3,8	3,76	3,78	3,76	3,76
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2.226	2.246	2.213	2.247	2.261	2.282	2.253	2.233	2.269
<b>Altura (mm)</b>	203,6	204,5	203,9	203,4	204,24	203,2	203,7	204,1	203,2
<b>Diámetro (mm)</b>	102,5	102,1	102,7	102,9	102,36	101,6	102,4	102,5	101,9
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	8252	8187	8289	8316	8229	8107	8236	8252	8155
<b>Edad (días)</b>	14	14	14	14	14	14	14	14	14
<b>Carga (kN)</b>	177,90	193,00	202,20	184,4	202,40	182,00	180,00	181,00	168,90
<b>Resistencia Real (MPa)</b>	21,56	23,57	24,39	22,17	24,60	22,45	21,86	21,94	20,71
<b>Desarrollo</b>	102,18	111,72	115,61	105,09	116,57	106,39	103,59	103,96	98,15
<b>Tipo de Falla</b>	1	5	5	2	5	5	5	1	2

Tabla 11. Datos de cilindros de concreto convencional fallados a los 14 días



Gráfica.8 Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto convencional con edad de 14 días. **Fuente:**  
Propia

Para los cilindros de concreto con edad de 14 días, se registraron cargas aplicadas entre 170 kN (Cilindro #9) hasta los 202.4 kN (Cilindro #5), lo cual representa un desarrollo de la resistencia a la compresión superior al 95% para la totalidad de los cilindros, es decir, la resistencia a la compresión conseguida por los cilindros con esta edad es en promedio 22.8 MPa. Los tipos de fallas en este caso no fueron todos iguales, hubo un predominio del tipo de fractura 5 que corresponde a un fallo en una esquina superior o inferior del cilindro. Sin embargo, se presentaron tipos de falla 1 y 2 en la cuales se describe que se pudieron presentar errores en el momento de fabricación de los cilindros en uno de los extremos. Pese a los posibles errores cometidos, no se ha evidenciado un decaimiento en la resistencia en comparación con los cilindros fallados a 7 días, en contraparte, se registró un aumento en la misma de aproximadamente 15%. Para estos cilindros, se evidencio una buena adherencia de los agregados y no se registraron rastros de segregación.



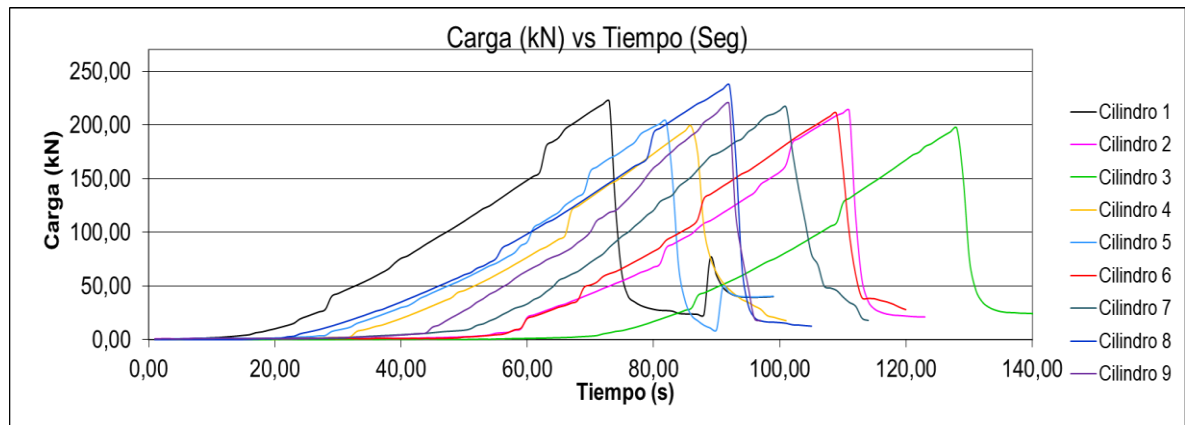


Imagen 12. Tipos de fallas de cilindros de concreto convencional 7 días (Izquierda), 14 días (Centro), 28 días (Derecha). Las imágenes mostradas corresponden a los cilindros de concreto convencional **Fuente:** Propia

#### 4.1.3. Cilindros De Concreto Convencional (28 Días).

Resultados de ensayo									
No. Del Cilindro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Peso (kg)</b>	3,7	3,84	3,76	3,82	3,8	3,76	3,78	3,78	3,86
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2.235	2.288	2.271	2.295	2.295	2.270	2.273	2.232	2.251
<b>Altura (mm)</b>	203	204,2	203,4	203,3	203,8	203,1	203,9	204,4	204,2
<b>Diámetro (mm)</b>	101,9	102,3	101,8	102,1	101,7	101,9	101,9	102,7	103,4
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	8155	8219	8139	8187	8123	8155	8155	8284	8397
<b>Edad (días)</b>	28	28	28	28	28	28	28	28	28
<b>Carga (kN)</b>	222,00	213,20	197,10	198,40	203,50	210,60	216,4	237,10	220,1
<b>Resistencia Real (MPa)</b>	27,22	25,94	24,22	24,23	25,05	25,82	26,53	28,62	26,21
<b>Desarrollo</b>	129,01	122,93	114,77	114,85	118,73	122,39	125,76	135,65	124,22
<b>Tipo de Falla</b>	2	5	2	5	5	2	5	5	2

Tabla 12. Datos de cilindros de concreto convencional fallados a los 28 días



Grafica 9. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto convencional con edad de 28 días. **Fuente:** Propia

Los últimos cilindros de concreto convencional correspondieron a los ensayos de compresión de las muestras con una edad de 28 días. Los resultados de resistencia a la compresión estuvieron dentro de los rangos de 23 MPa hasta los 29 MPa que alcanzó el Cilindro #8. El promedio de resistencia de estos 9 cilindros fue de 26 MPa aumentando su resistencia en un 18% con respecto a los cilindros de 14 días. Los tipos de fallas que se presentaron corresponden a tipos de falla 2 y 5. Para estos cilindros también, de acuerdo con la descripción propuesta por la norma NTC 673, se presentaron fallos en alguno de los extremos de los cilindros. Sin embargo, esto no fue impedimento para que la resistencia de los cilindros fuera menor a la esperada.

A partir de estos resultados, se puede evidenciar que aunque posiblemente se presentaron errores mínimos en la producción de los cilindros, en ningún momento se obtuvieron resultados negativos o resultados con los cuales la resistencia de la mezcla de concreto no fuera la adecuada, por lo cual, se concluye preliminarmente que el diseño de mezcla calculado fue el adecuado partiendo de los resultados arrojados por la caracterización de los agregados gruesos y finos, los cuales posteriormente serán usados para la fundición de los cilindros restantes que contienen un porcentaje de reemplazo de agregado grueso por el material a probar.

#### 4.2.Resultados A Compresión De Los Cilindros De Concreto Con 10% De Agregado Grueso De Reemplazo.

4.3. Los siguientes resultados corresponden a los ensayos realizados a los cilindros que contenían un porcentaje de 10% de modificación del agregado grueso. Según el diseño de mezcla realizado, se hizo uso de aproximadamente 4,5 Kg del material reemplazante para los 27 cilindros propuestos.

#### 4.3.1. Cilindros De Concreto Modificado Con 10% De Hueso Triturado (7 Días).

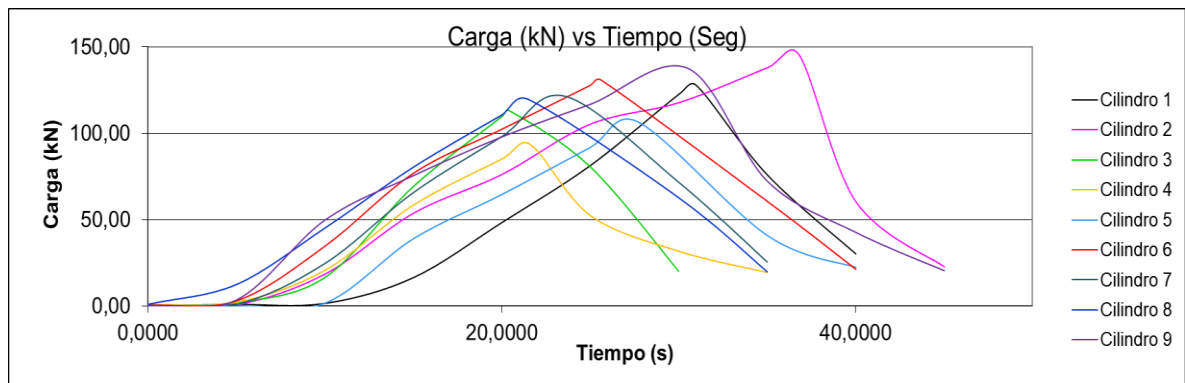
Resultados de ensayo									
No. Del Cilindro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Peso (kg)</b>	3,5	3,45	3,42	3,46	3,45	3,52	3,48	3,52	3,44
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2.108	2.091	2.067	2.069	2.081	2.089	2.090	2.120	2.085
<b>Altura (mm)</b>	201,2	203,5	201,7	202,7	204,5	204,2	203,8	203,6	203,5
<b>Diámetro (mm)</b>	102,5	101,6	102,2	102,5	101,6	102,5	102	101,9	101,6
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	8252	8107	8203	8252	8107	8252	8171	8155	8107
<b>Edad (días)</b>	7	7	7	7	7	7	7	7	7
<b>Carga (kN)</b>	127,5	145,1	113,2	93,6	106,4	130,9	121,4	119,7	137,5
<b>Resistencia Real (MPa)</b>	15,45	17,90	13,80	11,34	13,12	15,86	14,86	14,68	16,96
<b>Desarrollo</b>	73,23	84,82	65,40	53,76	62,20	75,18	70,41	69,56	80,38
<b>Tipo de Falla</b>	5	5	5	5	5	4	5	2	5

Tabla 13. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 10% de reemplazo a 7 días

La primera característica que cabe resaltar de estos cilindros para las 3 edades de ensayo es que el peso de cada cilindro disminuyó en comparación con los pesos registrados en los cilindros que no tenían algún porcentaje de modificación. Aunque la diferencia de pesos no es bastante significativa por la cantidad de hueso, si se nota una brecha, la cual, para estos pesos se registra entre los 3.4 Kg y los 3.7 Kg principalmente. A partir de la tabla 13 la cual corresponde a los datos generales de los cilindros y sus respectivos resultados, se obtuvieron desarrollos del concreto en promedio del 70%, sin embargo, este promedio se vio afectado por 3 cilindros que registraron desarrollos entre el 53% y el 65% comparados con los desarrollos obtenidos por los demás cilindros restantes que registraron valores superiores al 70%. Los tipos de fallas que se produjeron se basan principalmente en la falla en alguno de los extremos de los cilindros, como se observa en la imagen. Las densidades entre los 9 cilindros no varían en más de un 3%.



Imagen 13. Tipo de falla del cilindro 5 con 10% de agregado de hueso triturado. **Fuente:** Propia



Grafica 10. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 10% de hueso triturado con edad de 7 días. **Fuente:** Propia

#### 4.3.2. Cilindros De Concreto Modificado Con 10% De Hueso Triturado (14 Días).

Los cilindros de 14 días de edad se caracterizaron por tener tipos de fallos 4 y 2 los cuales corresponden a fracturas diagonales a lo largo del cilindro.

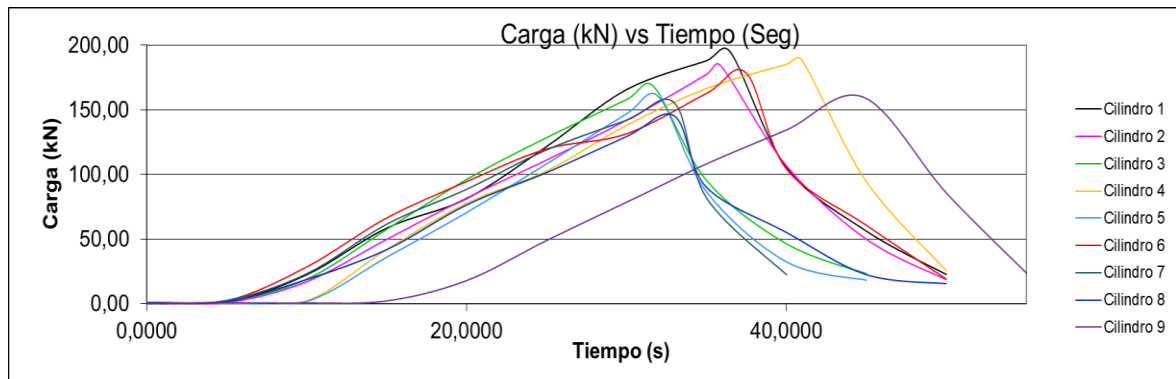


Imagen 14. Tipo de fallas de cilindros de concreto con 10% de hueso triturado a 14 días. **Fuente** Propia.

Los resultados de desarrollo estuvieron entre los rangos de 83% y el 113%, es decir, con 14 días de curado, el concreto alcanzo a superar el 90% de la resistencia de diseño en el 90% de los cilindros, consiguiendo en un porcentaje del 40 de los cilindros, superar el 100% de la resistencia a compresión. Las áreas de los cilindros no difieren uno del otro en más de un 4%

Resultados de ensayo									
No. Del Cilindro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Peso (kg)</b>	3,68	3,64	3,7	3,66	3,58	3,54	3,66	3,68	3,66
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2.225	2.220	2.146	2.182	2.144	2.141	2.173	2.171	2.195
<b>Altura (mm)</b>	202,4	203	204,1	204,1	203,5	202,3	204,5	203,8	202,5
<b>Diámetro (mm)</b>	102	101,4	103,7	102,3	102,2	102	102,4	102,9	102,4
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	8171	8075	8446	8219	8203	8171	8236	8316	8236
<b>Edad (días)</b>	14	14	14	14	14	14	14	14	14
<b>Carga (kN)</b>	195,0	184,0	168,0	188,0	160,0	178,6	155,0	145,5	160,0
<b>Resistencia Real (MPa)</b>	23,86	22,79	19,89	22,87	19,50	21,86	18,82	17,50	19,43
<b>Desarrollo</b>	113,10	107,99	94,27	108,40	92,44	103,59	89,20	82,92	92,08
<b>Tipo de Falla</b>	2	2	4	2	4	4	2	5	5

Tabla 14. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 10% de reemplazo a 14 días.



Grafica 11. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 10% de hueso triturado con edad de 14 días. **Fuente:** Propia

#### 4.3.3. Cilindros De Concreto Modificado Con 10% De Hueso Triturado (28 Días).

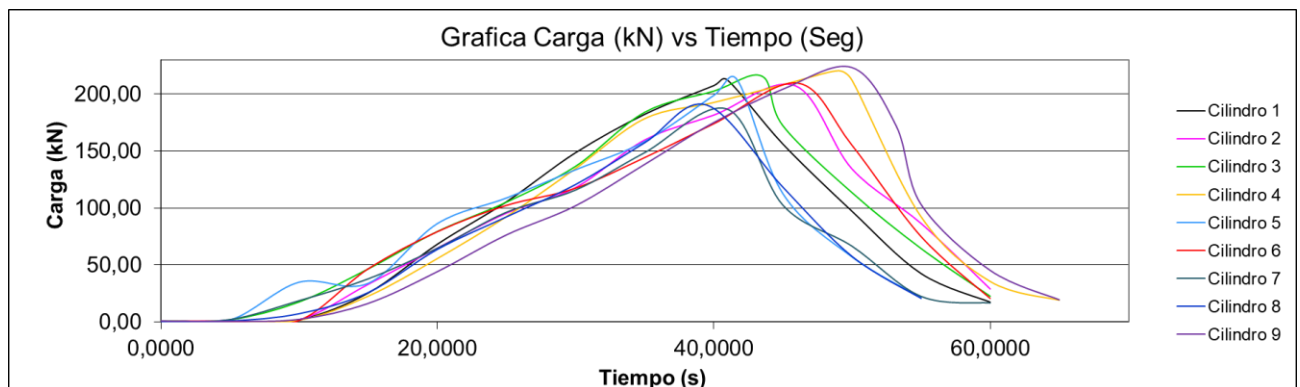
El 100% de los cilindros de concreto con esta modificación de agregado alcanzaron la resistencia de 21 MPa a compresión, incluso, el 80% de los cilindros superaron la barrera de los 25 MPa. Las fallas de estos cilindros, al igual que en la edad de 14 días, se desarrollaron fallas de tipo diagonal y también fallas en los extremos de los cilindros, las cuales son las fallas más comunes por los cabezales móviles de la maquina con la que es desarrollaron los ensayos de compresión.

Resultados de ensayo									
No. Del Cilindro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Peso (kg)</b>	3,7	3,68	3,64	3,62	3,7	3,68	3,58	3,64	3,7
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2.173	2.244	2.177	2.182	2.217	2.212	2.090	2.169	2.191
<b>Altura (mm)</b>	203,8	204,4	203,7	203,8	203,4	204,4	204,8	204,2	204,7
<b>Diámetro (mm)</b>	103,13	101,06	102,23	101,8	102,2	101,8	103,2	102,3	102,5
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	8353	8021	8208	8139	8203	8139	8365	8219	8252
<b>Edad (días)</b>	28	28	28	28	28	28	28	28	28
<b>Carga (kN)</b>	212,4	207,1	215,9	220,5	212,3	209,9	186,8	190,5	223,7
<b>Resistencia Real (MPa)</b>	25,43	25,82	26,30	27,09	25,88	25,79	22,33	23,18	27,11
<b>Desarrollo</b>	120,51	122,36	124,66	128,39	122,65	122,22	105,84	109,84	128,48
<b>Tipo de Falla</b>	2	5	5	5	5	4	2	2	4

Tabla 15. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 10% de reemplazo a 28 días.



Imagen 15. Tipo de fallas de cilindros de concreto con 10% de hueso triturado a 28 días. **Fuente Propia.**



Grafica 12. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 10% de hueso triturado con edad de 28 días. **Fuente: Propia**

Sin embargo, aun cuando la totalidad de los cilindros obtuvieron una buena resistencia a la compresión, es necesario e importante denotar que, aunque no se presentaron características negativas en los cilindros como el cambio de color, el olor, el pH en el ámbito químico, si se presentó un aspecto negativo en cuanto a la adherencia del material nuevo con los demás elementos constituyentes de la mezcla de concreto. Se evidenció que las partículas de hueso

que quedaban expuestas después del fallo se podían extraer fácilmente, es decir, la adherencia del hueso con la mezcla fue baja, factor que teóricamente le reduce la resistencia al concreto. Aun cuando las características físicas de hueso los describían como un material, después de la trituración, angular, también se describía como un material de textura lisa, lo que dificultaba desde un principio la adherencia del material.

#### 4.4.Resultados A Compresión De Los Cilindros De Concreto Con 20% De Agregado Grueso De Reemplazo

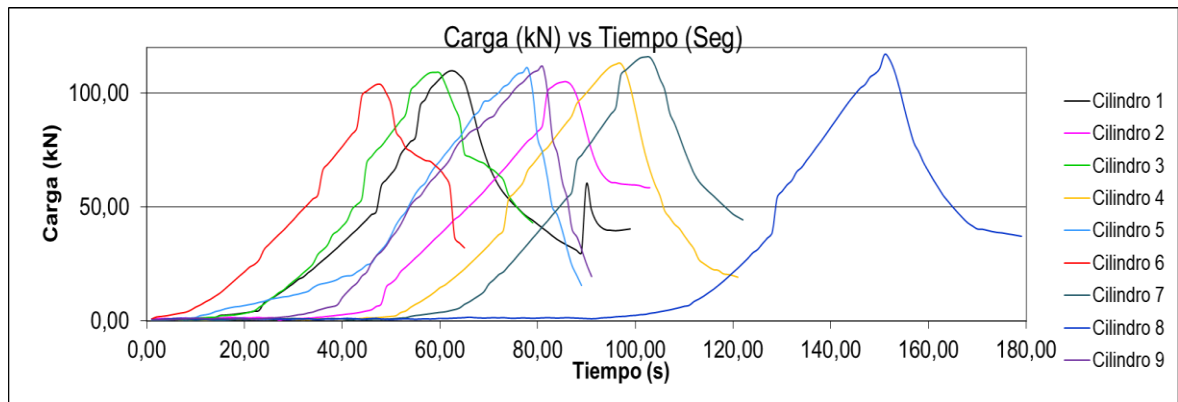
El uso de hueso para la fundición de estos 27 cilindros con un 20% de reemplazo del agregado grueso correspondió a aproximadamente 9 Kg, triturados manualmente, al igual que los cilindros con 10% de modificación, con el fin último de obtener los rangos de tamaños deseados para el agregado grueso que se determinó en a lo más 1 Pulgada como tamaño máximo.

##### 4.4.1. Cilindros De Concreto Modificado Con 20% De Hueso Triturado (7 Días).

Resultados de ensayo									
No. Del Cilindro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Peso (kg)</b>	3,7	3,66	3,68	3,66	3,68	3,62	3,64	3,66	3,64
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2.220	2.186	2.197	2.162	2.207	2.172	2.174	2.189	2.184
<b>Altura (mm)</b>	204,8	204,9	204,6	204,4	205,3	204,4	204,1	204,2	204,4
<b>Diámetro (mm)</b>	101,8	102	102,1	102,7	101,7	101,9	102,2	102,1	101,9
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	8139	8171	8187	8284	8123	8155	8203	8187	8155
<b>Edad (días)</b>	7	7	7	7	7	7	7	7	7
<b>Carga (kN)</b>	109,80	104,90	109,20	113,10	111,0	103,70	116,00	116,90	111,7
<b>Resistencia Real (MPa)</b>	13,49	12,84	13,34	13,65	13,66	12,72	14,14	14,28	13,70
<b>Desarrollo</b>	63,93	60,84	63,21	64,71	64,76	60,26	67,02	67,67	64,91
<b>Tipo de Falla</b>	5	5	5	4	2	5	2	5	2

Tabla 16. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 20% de reemplazo a 7 días.





Grafica 13. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 20% de hueso triturado con edad de 7 días. **Fuente:** Propia



Imagen 16. Tipo de falla del cilindro 4 con 20% de hueso triturado (7 Días). **Fuente:** Propia

Al igual que en los cilindros de 10% de reemplazo, el peso los 27 cilindros estuvo en todo momento inferior al peso registrado por los cilindros de concreto convencional. Para estos cilindros, el rango de pesos variaba entre 3.5 Kg y 3.7 Kg. Con respecto a la resistencia a la compresión, los resultados difirieron entre sí en un 11% aproximadamente, se obtuvo una resistencia promedio de 13.53 MPa la cual estuvo por debajo comparada con la resistencia alcanzada con un 10% de hueso triturado. Los tipos de fallas registrados a los 7 días corresponden a fallas en los extremos de los cilindros y en una ocasión se registró una fractura diagonal en el cilindro. Como se tenía evidenciado desde los resultados anteriores, la

adherencia para estos cilindros fue de igual manera casi nula, pues como se puede observar

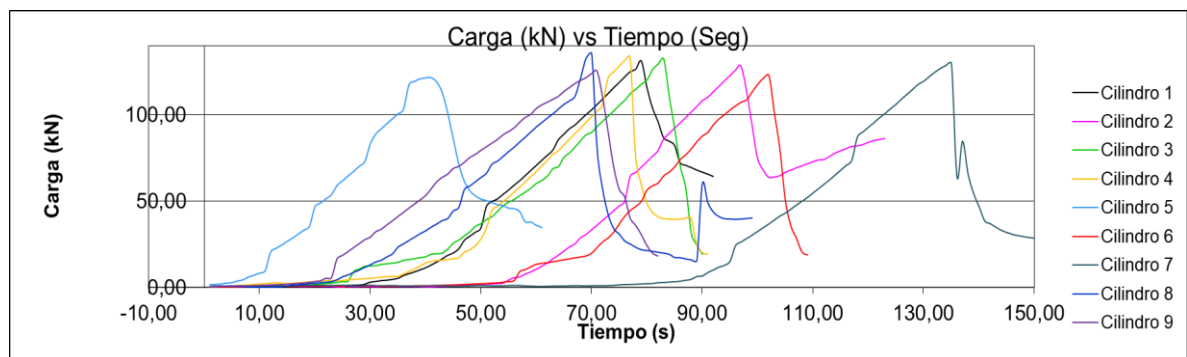
en la imagen, la partícula de hueso se pudo extraer de la mezcla sin fracturarse.

#### 4.4.2. Cilindros De Concreto Modificado Con 20% De Hueso Triturado (14 Días).

Las resistencias a 14 días no lograron obtener un desarrollo del 80% en ningún cilindro, el máximo valor de desarrollo registrado fue de 76.7 Kg que alcanzo el cilindro #1. Difieren con el valor promedio obtenido por los cilindros de 10% a la misma edad de ensayo en un 25%, ya que, para esta edad, el concreto con 10% de hueso triturado alcanzaba ya en algunos cilindros el 100% de su resistencia de diseño. Estos cilindros en su mayoría presentaron fallas del tipo 2 según la norma NTC-673, de esto se deriva entonces, un fallo en la producción de los cilindros de este tipo ya que el tipo de fallo presentado describe una anomalía en uno de los extremos del cilindro hecho. La tabla de datos se presenta a continuación.

Resultados de ensayo									
No. Del Cilindro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Peso (kg)</b>	3,61	3,64	3,68	3,62	3,57	3,6	3,58	3,61	3,62
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2.188	2.224	2.196	2.156	2.165	2.103	2.148	2.121	2.178
<b>Altura (mm)</b>	203,5	202,7	203,1	201,9	203,4	202,7	201,6	202,7	203
<b>Diámetro (mm)</b>	101,6	101,4	102,5	102,9	101,6	103,7	102,6	103,4	102,1
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	8107	8075	8252	8316	8107	8446	8268	8397	8187
<b>Edad (días)</b>	14	14	14	14	14	14	14	14	14
<b>Carga (kN)</b>	131,1	128,4	132,4	133,7	121,50	123,0	129,90	135,4	125,2
<b>Resistencia Real (MPa)</b>	16,17	15,90	16,05	16,08	14,99	14,56	15,71	16,12	15,29
<b>Desarrollo</b>	76,64	75,36	76,04	76,20	71,03	69,02	74,46	76,42	72,47
<b>Tipo de Falla</b>	5	5	2	2	2	4	2	2	2

Tabla 17. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 20% de reemplazo a 14 días.



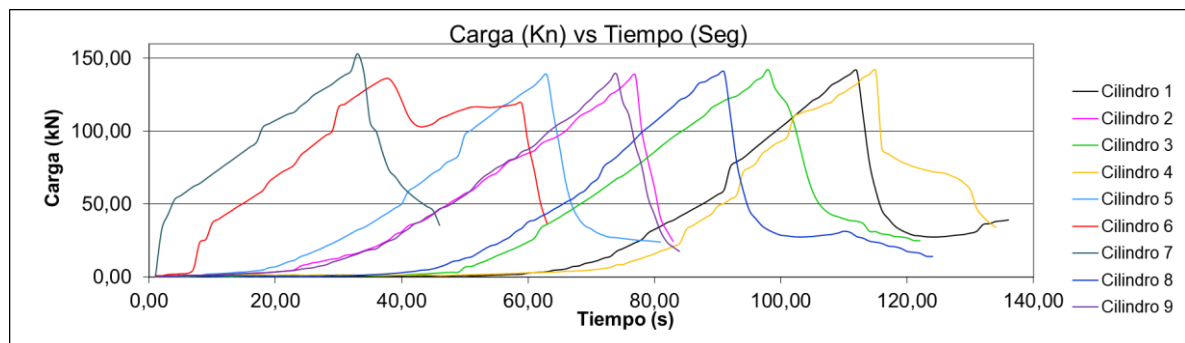
Grafica 14. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 20% de hueso triturado con edad de 14 días. Fuente: Propia

#### 4.4.3. Cilindros De Concreto Modificado Con 20% De Hueso Triturado (28 Días).

El 90% de los cilindros fallados a 28 días con un 20% de hueso triturado alcanzo, tan solo, un 80% de la resistencia de diseño, es decir, alcanzaron en promedio 17 MPa. No se presentó una diferencia significativa entre la madurez que alcanzo este concreto modificado a los 14 días en comparación con la madurez alcanzada a los 28 días, pues la diferencia entre la resistencia a los 14 días con respecto a la resistencia desarrollada a los 28 días fue de tan solo 1 MPa, con lo cual no se llega al 90% de la resistencia propuesta en el diseño de mezcla.

Resultados de ensayo									
No. Del Cilindro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Peso (kg)	3,64	3,7	3,68	3,66	3,58	3,56	3,68	3,56	3,64
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	2.152	2.232	2.203	2.206	2.137	2.142	2.204	2.115	2.163
Altura (mm)	204,2	203,7	203,2	203,8	203,4	203,4	203,5	203,6	204,3
Diametro (mm)	102,7	101,8	102,3	101,8	102,4	102	102,2	102,6	102,4
Area (mm <sup>2</sup> )	8284	8139	8219	8139	8236	8171	8203	8268	8236
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Carga (kN)	141,40	138,7	132,5	141,8	138,6	135,90	153,2	140,5	139,3
Resistencia Real (Mpa)	17,07	17,04	16,12	17,42	16,83	16,63	18,68	16,99	16,91
Desarrollo	80,90	80,76	76,40	82,57	79,76	78,82	88,51	80,54	80,16
Tipo de Falla	2	5	5	2	5	2	2	5	5

Tabla 18. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 20% de reemplazo a 28 días.



Grafica 15. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 20% de hueso triturado con edad de 28 días. Fuente: Propia



Imagen 17. Tipo de fallas de cilindros de concreto con 20% de hueso triturado a 14 días (Izquierda) y a 28 días (Derecha). Fuente Propia.

Los tipos de falla no variaban entre una fractura en algunos de los extremos de los cilindros, aunque se presentan casos que se definieron como una falla en forma de Y. Se seguía presentando una adherencia mínima a la mezcla con lo que preliminarmente se concluye que el hueso en mayores proporciones al 10% no le prestan las características mecánicas del triturado del hueso de la tibia de res a la resistencia del concreto para mejorarla o mantenerla.

#### 4.5.Resultados A Compresión De Los Cilindros De Concreto Con 30% De Agregado Grueso De Reemplazo.

Aquellos cilindros de concreto que requerían un 30% de agregado grueso de triturado de hueso de res requerían alrededor de 14 Kg del material para la totalidad de las muestras. El

material se continuaba triturando y limpiando de forma manual con el fin de que los tamaños correspondiesen a los detallados en la granulometría (no mayor a 1 pulgada) y procurando remover por completo la carne y la medula ósea procedente del animal. En esta ocasión se presentaron nuevos tipos de fallas después de la compresión y la resistencia seguía siendo menor a lo propuesto, incluso inferior a lo obtenido en las muestras con el 20% de agregado grueso reemplazado.

#### 4.5.1. Cilindros De Concreto Modificado Con 30% De Hueso Triturado (7 Días)

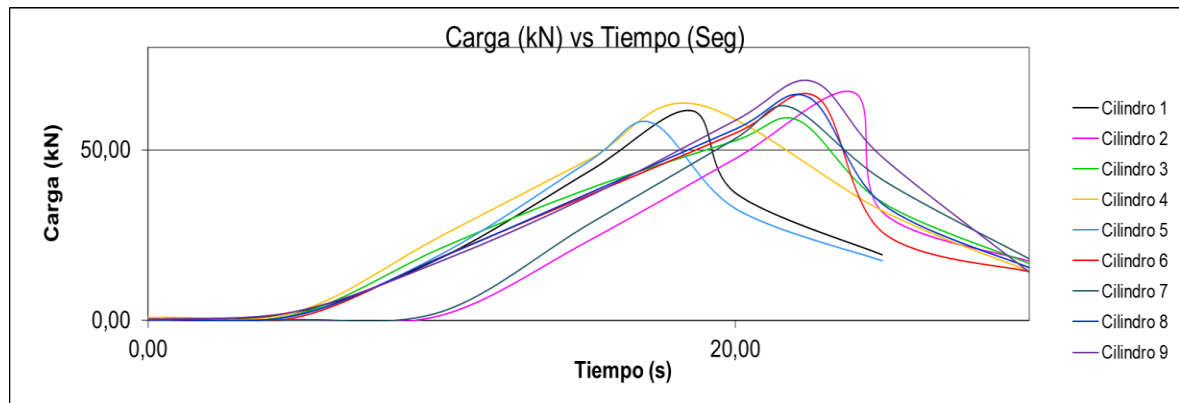
Los primeros nueve cilindros con una edad de 7 días presentaron, en su mayoría, tipos de fallas verticales a lo largo del cilindro, lo que se define como un mal proceso de fabricación, sin embargo, también puede ser causa de una aplicación de la carga inadecuada en alguno de los cabezales. Cabe resaltar que, aunque se trató de seguir los procedimientos detallados en la norma, se pudieron haber presentado errores que posiblemente alteraron los resultados de las resistencias.

Resultados de ensayo									
No. Del Cilindro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Peso (kg)</b>	3,46	3,5	3,46	3,46	3,48	3,45	3,5	3,4	3,51
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2.121	2.141	2.014	2.087	2.085	2.107	2.095	2.079	2.074
<b>Altura (mm)</b>	202,4	203,2	203,8	202,1	202,7	203,6	202,1	202,5	203,1
<b>Diámetro (mm)</b>	101,3	101,2	103,6	102,2	102,4	101,2	102,6	101,4	103
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	8060	8044	8430	8203	8236	8044	8268	8075	8332
<b>Edad (días)</b>	14	14	14	14	14	14	14	14	14
<b>Carga (kN)</b>	61,6	66,9	58,7	63,4	58,0	65,3	62,8	65,4	70,2
<b>Resistencia Real (MPa)</b>	7,64	8,32	6,96	7,73	7,04	8,12	7,60	8,10	8,43
<b>Desarrollo</b>	36,22	39,42	33,00	36,63	33,38	38,48	36,00	38,38	39,93
<b>Tipo de Falla</b>	3	3	2	3	3	2	5	5	5

Tabla 19. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 30% de reemplazo a 7 días.

Los resultados de la resistencia a compresión se vieron claramente afectados en parte por su proceso de elaboración, los valores de resistencia obtenidos por el ensayo no superaron en

ninguno de los 9 casos los 10 MPa, es decir, no alcanzaron un desarrollo siquiera del 40% de la resistencia de diseño.



Grafica 16. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 30% de hueso triturado con edad de 7 días. **Fuente:** Propia

#### 4.5.2. Cilindros De Concreto Modificado Con 30% De Hueso Triturado (14 Días).

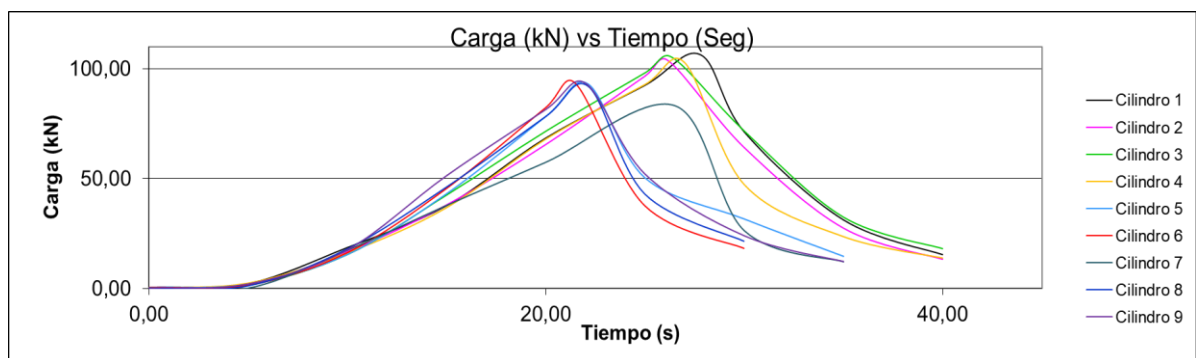
Estos cilindros, contrario a los cilindros con el mismo porcentaje de reemplazo en una edad de 7 días, presentaron fallas comunes a las que se habían presentado en la mayoría de los cilindros fallados hasta el momento, los cuales eran fallas en alguno de los extremos de los cilindros, fallas en forma de X o fracturas diagonales, sin embargo, cabe aclarar que varios de los cilindros seguían presentando la falla de tipo columnar aun cuando la mayoría de los cilindros se fundieron el mismo día de aquellos que desarrollaron fallas distintas.

Resultados de ensayo									
No. Del Cilindro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Peso (kg)</b>	3,6	3,6	3,58	3,58	3,58	3,6	3,58	3,56	3,56
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2.150	2.185	2.171	2.149	2.186	2.200	2.170	2.121	2.161
<b>Altura (mm)</b>	202,9	203,2	203,8	203,5	201,2	201,8	202,3	203,8	202,4
<b>Diámetro (mm)</b>	102,5	101,6	101,5	102,1	101,8	101,6	101,9	102,4	101,8
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	8252	8107	8091	8187	8139	8107	8155	8236	8139
<b>Edad (días)</b>	14	14	14	14	14	14	14	14	14
<b>Carga (kN)</b>	106,3	103,9	105,4	102,7	93,2	93,3	83,2	92,1	93,4
<b>Resistencia Real (MPa)</b>	12,88	12,82	13,03	12,54	11,45	11,51	10,20	11,18	11,48
<b>Desarrollo</b>	61,05	60,74	61,74	59,45	54,27	54,54	48,35	53,00	54,38

<b>Tipo de Falla</b>	2	4	3	3	2	2	5	5	2
----------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabla 20. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 30% de reemplazo a 14 días

Las resistencias para todas las muestras siguen siendo inferior a los esperado por las propiedades mecánicas que posee el hueso compacto, ninguna de las muestras alcanzo una resistencia igual o cercana al 70% siendo la resistencia mayor la proveída por el cilindro #3 la cual fue de 13 MPa. En cuanto al peso, cabe destacar que se siguen presentando en todo momento pesos inferiores a los descritos en los cilindros de concreto convencional.



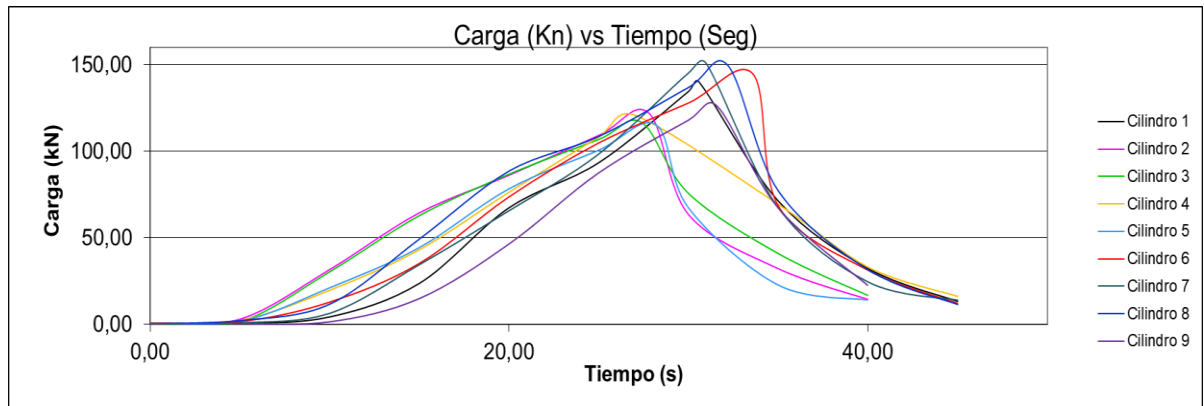
Gráfica 17. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 30% de hueso triturado con edad de 14 días. Fuente: Propia

#### 4.5.3. Cilindros De Concreto Modificado Con 30% De Hueso Triturado (28 Días).

Resultados de ensayo									
No. Del Cilindro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Peso (kg)</b>	3,56	3,6	3,6	3,54	3,54	3,6	3,64	3,66	3,6
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2.154	2.130	2.195	2.109	2.126	2.177	2.169	2.147	2.106
<b>Altura (mm)</b>	203,5	204,3	204,3	203,8	202,6	203,2	203,8	203	204,4
<b>Diámetro (mm)</b>	101,7	102,64	101,1	102,4	102,3	101,8	102,4	103,4	103,2
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	8123	8274	8028	8236	8219	8139	8236	8397	8365
<b>Edad (días)</b>	28	28	28	28	28	28	28	28	28
<b>Carga (kN)</b>	140,0	122,2	116,5	120,8	115,2	144,6	150,6	149,4	126,1
<b>Resistencia Real (MPa)</b>	17,23	14,77	14,51	14,67	14,02	17,77	18,29	17,79	15,08
<b>Desarrollo</b>	81,68	69,99	68,78	69,52	66,42	84,20	86,67	84,32	71,45
<b>Tipo de Falla</b>	2	5	3	3	2	4	4	4	4

Tabla 21. Datos generales del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con 30% de reemplazo a 28 días.

Los resultados, incluso a una edad de 28 días, no fueron destacados en ningún momento. Después de 28 días de madurez, el concreto con un agregado de hueso triturado en un 30% de reemplazo del agregado grueso no alcanzo más allá de un 86%. Los tipos de fallas presentados fueron fracturas diagonales, o por fallas en algunos de los extremos de los especímenes mientras que en 2 especímenes se presentaron fallas columnares



Grafica 18. Carga Vs Tiempo de ensayo de cilindros de concreto con 30% de hueso triturado con edad de 14 días. Fuente: Propia





*Imagen 18. Fallas presentadas en los cilindros de 7 días (Izquierda), 14 días (Centro) y 28 días (Derecha) con un 30% de hueso triturado en forma de agregado grueso*

Los resultados no fueron 100% satisfactorios, pues a pesar de que el hueso posee propiedades mecánicas que se pensaba iba a compartir en la mezcla de concreto, no se presentaba un buen comportamiento con los materiales constituyentes del concreto. Se evidencio que, por las características del hueso, se requería un aumento del agua en la mezcla debido a la capacidad de absorción que posee el hueso en comparación con las proporciones de materiales que requería la mezcla de concreto convencional. El factor positivo que se evidencio desde un principio fue el aligeramiento en el peso de los especímenes que contenían algún grado de hueso triturado. Las resistencias del concreto con un porcentaje de reemplazo del 20% y 30% no cumplieron acorde a lo diseñado, en contraparte, tales porcentajes de agregado de hueso triturado disminuyeron la resistencia a la compresión en comparación con un porcentaje de reemplazo de 10% con lo cual, aunque no superaba las resistencias alcanzadas en los ensayos del concreto convencional, fueron satisfactorias pues superaban la resistencia de diseño y disminuían el peso del concreto. Es importante, sin embargo, resaltar que aun cuando los resultados adquiridos por los especímenes del concreto con hueso triturado al 10%, la adherencia del material nuevo fue mínimamente nula por la textura lisa del material.

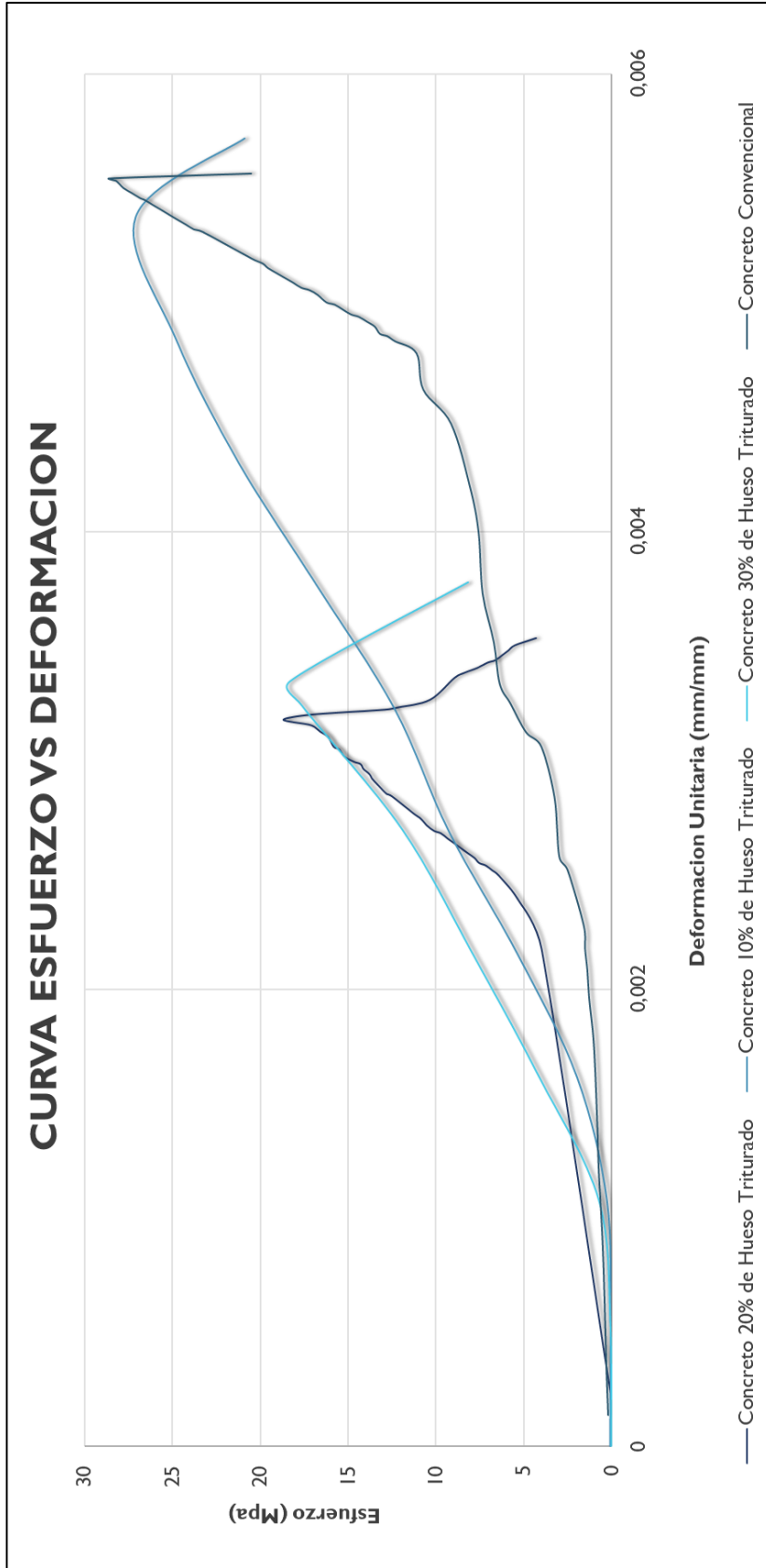
#### 4. GRAFICAS DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN.

Las siguientes graficas realizadas con los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión efectuados en el laboratorio de la Universidad Piloto de Colombia por los autores; muestran el comportamiento en la relación entre el esfuerzo aplicado a los cilindros más resistentes por cada proporción de agregado de triturado de hueso y concreto convencional para una edad de 28 días y la deformación producida por el mismo.

De los nueve cilindros por cada proporción de agregado grueso de triturado de hueso y concreto convencional diseñado para una resistencia de 21 MPa se escogió el más resistente para poder realizar la comparación entre cada proporción asimismo dando a conocer la proporción óptima desde el punto de vista de la resistencia. Los cilindros de mayor



resistencia por cada proporción de material de reemplazo y convencional fueron:  
proporción de 10 % = cilindro No 9, proporción de 20 % = cilindro No 7, proporción de 30  
% = cilindro No 7, concreto convencional = cilindro No 8.



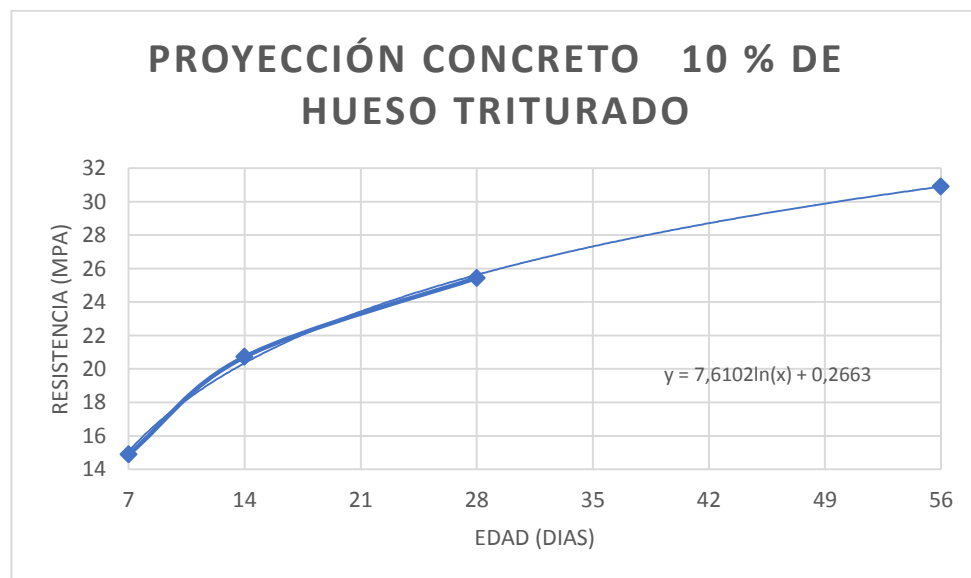
*Grafica 19. Esfuerzo Vs Deformación de ensayo de resistencia a la compresión de los cilindros más resistentes por proporciones de material de reemplazo y concreto convencional de 28 días. Fuente: Propia*

#### 4.1 Análisis de las curvas esfuerzo vs deformación.

La gráfica 19 muestra la curva de la relación entre el esfuerzo en MPa y la deformación unitaria mm/mm producida por la presión aplicada a cada uno de los cilindros, realizando un comparativo entre las curvas, se muestra que la deformación unitaria para las curvas de proporciones de material de reemplazo se encuentra en un rango de deformación unitaria en el esfuerzo de rotura y la zona elástica entre los 0.00 mm/mm y 0.004 mm/mm, mientras que la curva de concreto convencional y la curva de concreto con 10% de agregado triturado de hueso de res muestra una deformación unitaria superior a los 0.005 mm/mm en el esfuerzo de rotura y la zona elástica.

Con base en la gráfica y ahora desde el punto de vista de la resistencia se obtiene que los cilindros de concreto convencional reaccionan con mayor resistencia que los cilindros con proporciones de agregado de triturado de hueso.

#### 4.2 Proyecciones de resistencias a la compresión.



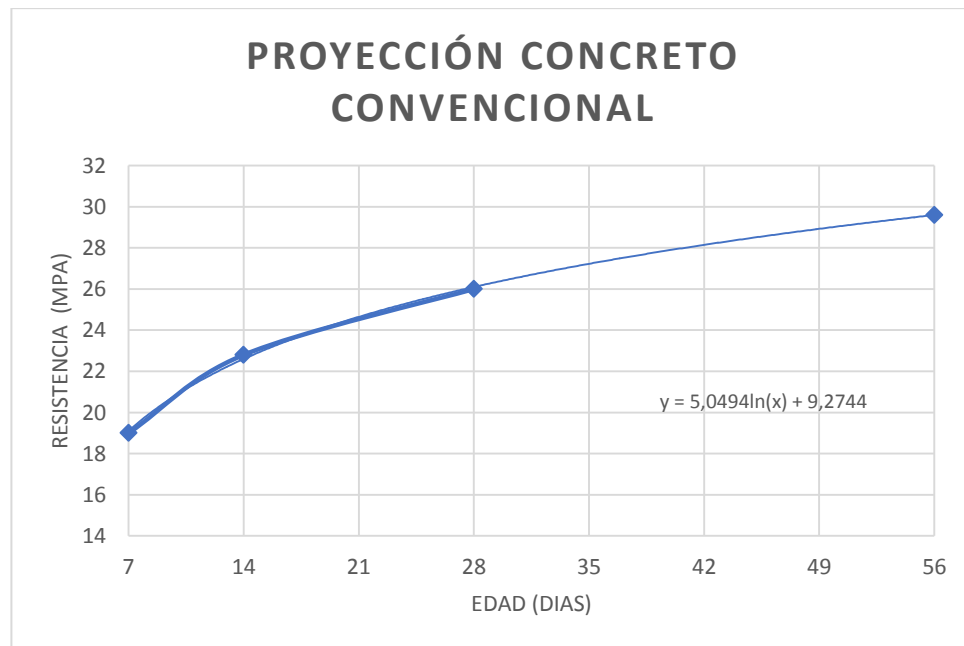
Gráfica 20. Proyección de concreto con 10 % de triturado de hueso. **Fuente: Propia**

Al observar el comportamiento de la curva referente al concreto con 10 % de triturado de hueso en la gráfica 19, se optó realizar proyecciones basándose en la línea de tendencia que reflejan las gráficas 20 y 21 con respecto a las distintas edades de ensayos a compresión,

con el fin de analizar el posible comportamiento de su resistencia en lapsos de 7 días hasta llegar a 56 días, siendo el punto inicial la fecha final de ensayo a compresión. A partir de las ecuaciones de las curvas de las graficas presentadas, se compararon los resultados de los cálculos de las proyecciones para ambas mezclas de concreto reflejando un crecimiento sustancial en la resistencia a compresión del concreto modificado con triturado de hueso de res después de los 28 días. Tal crecimiento se evidencio en la tabla 36 donde se presenta la igualación de la resistencia a la compresión sobre el concreto convencional a los 35 días, momento en el cual, basándose en las proyecciones mostradas en las gráficas, empieza a ser mayor la resistencia con un concreto usando hueso triturado. Se establece de acuerdo con los datos obtenidos, que es posible que se hubiesen obtenido resultados muy favorables en un periodo de 56 días, edad que esta establecida en la Norma Técnica Colombiana como una edad de ensayo de especímenes de concreto a compresión.

Proyecciones de resistencias a la compresión en correlación con días de ensayo							
Días	7	14	28	35	42	49	56
Concreto de 10%	14,89	20,72	25,44	27,32	28,71	29,88	30,90
C. Convencional	19	22,8	26	27,2	28,1	28,9	29,6

Tabla 36. Proyecciones de resistencias a la compresión en correlación con días de ensayo. **Fuente: Propia**



Gráfica 21. Proyección de concreto convencional. **Fuente: Propia**

## 5. CONCLUSIONES.

- De acuerdo con los resultados obtenidos por los ensayos de compresión de la totalidad de las muestras de concreto con 3 porcentajes de agregado grueso de modificación con hueso de res triturado, se concluye que a medida que se le aumente el porcentaje, es decir, que haya un aumento en la cantidad de hueso triturado, el concreto reduce la resistencia en un 3% aproximadamente. **NOTA:** El 3% corresponde a la relación entre el promedio de las resistencias del concreto convencional y la mezcla con 10% de agregado grueso, el cual se dedujo como la mejor posibilidad debido a la resistencia adquirida. Sin embargo, tales reducciones en la resistencia se presentaron de forma más clara en los resultados arrojados por los especímenes que poseían un porcentaje de reemplazo de 20% y 30% de hueso triturado cuyos resultados variaban a lo mas en un 38%.
- A pesar de que los resultados no fueron satisfactorios en un 100%, se obtuvieron resultados aceptables cuando la modificación de la mezcla de concreto se realizaba con un 10% de hueso triturado. Aunque se alcanzaba a superar la resistencia de diseño en un 21%, comparando esos resultados junto con las resistencias logradas por el concreto común, no se alcanza a evidenciar un aumento, ni una igualación en la resistencia, es decir, los esfuerzos a compresión alcanzados por los cilindros de 4''x 8'' (10 cm x 20 cm) con el 10% de modificación del agregado, eran inferiores a los conseguidos por las muestras del concreto convencional. Por lo cual, se concluye entonces, que las pequeñas cantidades de reemplazo del agregado grueso por hueso proveniente de la tibia de la res en una forma triturada, sirve como material en la mezcla de concreto obteniendo una resistencia mínimamente inferior a la que, de acuerdo con este trabajo de investigación, se obtuvo con un concreto sin alguna modificación.
- La insatisfacción en la resistencia a compresión de los cilindros de concreto que incluían alguno de los porcentajes de trituración de hueso de res con los cuales se

realizó el presente trabajo de investigación, se debe principalmente a las características físicas del hueso que impedían que la adherencia de nuevo material, con los demás agregados y con la pasta de cemento, no fuera la adecuada.

- Se analizó a partir de la mínima adherencia que otorgaba el hueso a la mezcla de concreto que, si la rugosidad del hueso se pudiese modificar de tal manera que no se obtuviera desde un principio un material casi en su totalidad liso, podría afectar de manera positiva la resistencia del concreto a los ensayos a compresión debido a su posible comportamiento homogéneo y en conjunto de los agregados y la pasta cementante
- Al analizar los resultados obtenidos con base en el peso promedio de los cilindros de concreto convencional que es de 3.78 kg y el promedio en el peso de los cilindros de concreto con agregado de hueso para un 10 % de reemplazo de agregado grueso es de 3.5 kg; se concluyó que existe una disminución en el peso de hasta aproximadamente 8 % lo cual conlleva en si un beneficio para la estructura pues el aligeramiento en el peso causado por esta reducción, 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 – beneficio.
- La textura del triturado de hueso que a pesar de tener forma angulosa y en un pequeño porcentaje rugosidad, contiene en mayor porcentaje una textura lisa lo cual se refleja en la adherencia causando un factor negativo para la mezcla pero aun así al analizar las demás características físicas y mecánicas de la mezcla se llegó a la conclusión que el triturado de hueso se puede implementar pues no afecta a la resistencia de manera significativa con relación en la resistencia de referencia pues cumple con ella. Ver capítulo 4, subcapítulo 4.2. Resultados A Compresión De Los Cilindros De Concreto Con 10% De Agregado Grueso De Reemplazo.

- Se sugiere la continuación del presente estudio, debido a que las propiedades mecánicas, previamente descritas en este trabajo, del hueso son teóricamente favorables para un posible reemplazo de los materiales comunes en una mezcla de concreto. Sin embargo, debido a que en este estudio se obtuvieron resultados desfavorables posiblemente en cierta medida por la adherencia mínima del material, se propone como un posible estudio el análisis del comportamiento del hueso trabecular o esponjoso. Si bien es cierto que de acuerdo con los resultados de los estudios previamente realizados por algunos autores se llega a una resistencia menor con respecto al hueso cortical o compacto, las características del hueso esponjoso pueden hacer que la adherencia y con ello, posiblemente, la resistencia se vea afectada bien se positiva o negativamente.
- A pesar de que los cilindros con proporciones de agregado grueso de triturado de hueso resistieron menos que los cilindros de concreto convencional de acuerdo a la resistencia de referencia de diseño, estos valores de resistencia se acercan a la misma y en algunos casos la superan y permiten concluir que son viables para el uso estructural analizándolo desde la proporción óptima que radica en que a menor cantidad de agregado de hueso mayor resistencia, pero así mismo es directamente proporcional a los costos y se evidencia reducción en el peso.
- Con base en el análisis de la gráfica 19 esfuerzo vs deformación, se concluye que el material de reemplazo le otorga a la mezcla de concreto mayor flexibilidad y elasticidad convirtiéndolo en un material con mayor ductilidad, con respecto al concreto convencional, lo que incurre en una falla donde no hay recuperación de su estado inicial. Esto se refleja a su vez cuando se analiza el modulo de elasticidad que se obtuvo a partir de las fórmulas establecidas en la NSR -10 Título C 8.5, teniendo en cuenta la densidad del concreto manejado cuyo resultado es de: 21 GPa.
- Centrando el enfoque en la parte ambiental del proyecto, se concluyo que existirá una disminución en las emisiones gaseosas que se generan a partir de la incineración del hueso en los mataderos con fines de realizar concentrado animal que son nocivas para el medio ambiente, de igual manera al analizar la absorción





del triturado de hueso que es del 25 % lo cual conlleva a que en el diseño de mezcla las proporciones de agua para un concreto de 10 % de triturado de res se redujeran en comparación con las cantidades de agua del diseño de mezcla para un concreto común.

- Las proyecciones sugieren que a medida que el concreto logra madures obtiene mayor resistencia para concreto con 10 % de material de reemplazo ganando por sobre encima del concreto común a una edad de 35 días, así mismo, se recomienda la continuación del presente trabajo de investigación tomando como base un concreto con 10 % de agregado de hueso triturado a edades superiores a los 28 días con el fin de verificar las proyecciones aquí expuestas.

## 6. REFERENCIAS

### Bibliografía

- Aguinaga, H. F. (19 de Febrero de 2013). *SlideShare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/javierdavidcubides/osteologia-16630241>
- anonimo. (s.f.). *CoDeco nutriline*. Obtenido de <http://www.codeconutriline.com/ingredientes-colageno/>
- Atlas de histologia vegetal y animal*. (06 de Noviembre de 2016). Obtenido de [\\*https://mmegias.webs.uvigo.es/a-imagenes-grandes/oseo\\_compacto.php](https://mmegias.webs.uvigo.es/a-imagenes-grandes/oseo_compacto.php)
- Cabrera, L. H. (1994). Capitulo 7. Desechos de Matadero como Alimento Animal en Colombia. Bogotá D.C., Colombia. Obtenido de <http://www.fao.org/livestock/AGAP/FRG/APH134/cap7.htm>
- Caeiro JR, G. P. (2013). Biomecanica y huesos (y II): ensayos en los distintos niveles jerarquicos del hueso y tecnicas alternativas para la determinacion de la resistencia osea . *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral* , 99 -108. Obtenido de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1889-836X2013002200007](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1889-836X2013002200007)
- Cesar Monroy, C. R., & Juan David Ospina, J. V. (2013). *Concreto con "Cenizas de Hueso Calcinado"*.
- Cubides, J. D. (19 de Febrero de 2013). *SlideShare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/javierdavidcubides/osteologia-16630241>
- Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito. (2011). Obtenido de [http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/7124\\_impacto.pdf](http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/7124_impacto.pdf)
- Esperante, R. (2010). Los Neandertales costruian casas con huesos de mamut . *Geoscience*.
- Fernandez, R. C., & Pérez, A. D. (08 de Diciembre de 2010). *Reumatologia Clinica*. Obtenido de <http://www.reumatologiaclinica.org/es/la-medicion-directa-resistencia-mecanica/articulo/S1699258X11000416/>
- Fessia, R. C., Giordano, A. R., Macagno, A. M., Moine, R. M., Farah, P. G., Álvarez, M. S., . . . Osmani, J. (2016). ENSAYO DE COMPRESIÓN EN LA MITAD DE LA

- DIÁFISIS DEL HUESO TIBIA DE PERRO. *ENSAYO DE COMPRESIÓN EN LA MITAD DE LA DIÁFISIS DEL HUESO TIBIA DE PERRO*. Obtenido de <http://www.morfovvirtual2016.sld.cu/index.php/Morfovvirtual/2016/paper/view/131>
- Fioretti, C., Galán, A., Moine, R., Varela, M., Varela, P., Mouguelar, H., . . . Natali, J. (2013). Características Mecánicas Dinámicas de la Tibia Aislada de Perro Sometida a Prueba de Impacto. *International Journal of Morphology*. Obtenido de [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-95022013000200033](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022013000200033)
- Gloobe, H. (1989). Anatomía Aplicada Del Bovino. En H. Gloobe, *Anatomía Aplicada Del Bovino* (pág. 131).
- Guzmán, D. S. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Bhandar.
- Hernández, V. M., Romero, M. F., Calderon, G. U., Gómez, L. H., Genaro Rico Martínez, Z. D., & Mejía, P. A. (1999). Biomecánica de un femur sometido a carga. Desarrollo de un modelo tridimensional por medio del método de elemento finito. *Revista Mexicana de Ortopedia y Traumatología*, 633-368. Obtenido de [https://books.google.com.co/books?id=Az6Cqv5zMwQC&pg=PA635&lpg=PA635&dq=modulo+de+young+del+hueso+cortical+y+trabecular&source=bl&ots=I\\_tKJ5Hct\\_&sig=PQwGY8-pxeD4sRN1m2w39D\\_24zg&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi0nLOhnLzYAhUF0iYKHX3NAXw4ChDoAQg6MAU#v=onepage&q&f=](https://books.google.com.co/books?id=Az6Cqv5zMwQC&pg=PA635&lpg=PA635&dq=modulo+de+young+del+hueso+cortical+y+trabecular&source=bl&ots=I_tKJ5Hct_&sig=PQwGY8-pxeD4sRN1m2w39D_24zg&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi0nLOhnLzYAhUF0iYKHX3NAXw4ChDoAQg6MAU#v=onepage&q&f=)
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación . (15 de Septiembre de 1999). NTC 385 - TERMINOLOGÍA RELATIVA AL CONCRETO Y SUS AGREGADOS.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (17 de Febrero de 2010). NTC 673 - ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO.
- J.R., C., P., G., & D., G. (2013). Biomecánica y hueso (y II): ensayos en los distintos niveles jerárquicos del hueso y técnicas alternativas para la determinación de la resistencia ósea. *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral*, 99-08. Obtenido

- de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1889-836X2013000200007](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1889-836X2013000200007)
- Jämsä, T., Jalovaara, P., Peng, Z., Väänänen, H. K., & Tuukkanen, J. (Septiembre de 1998). Comparision of three-Point Bending Test and Peripheral Quantitative Computed Tomography Analysis in the Evaluation of the Strength of Mouse Femur and Tibia. *ResearchGate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/13582770\\_Comparision\\_of\\_three-point\\_bending\\_test\\_and\\_peripheral\\_quantitative\\_computed\\_tomography\\_analysis\\_in\\_the\\_evaluation\\_of\\_the\\_strength\\_of\\_mouse\\_femur\\_and\\_tibia](https://www.researchgate.net/publication/13582770_Comparision_of_three-point_bending_test_and_peripheral_quantitative_computed_tomography_analysis_in_the_evaluation_of_the_strength_of_mouse_femur_and_tibia)
- López, E. R. (2000). Naturaleza y Materiales del Concreto. En E. R. López, *Naturaleza y Materiales del Concreto* (págs. 148 - 149). Lima.
- Mandal, A. (14 de Octubre de 2012). *News Medical Life Sciences*. Obtenido de [https://www.news-medical.net/health/What-is-Bone-Marrow-\(Spanish\).aspx](https://www.news-medical.net/health/What-is-Bone-Marrow-(Spanish).aspx)
- Medline Plus. (26 de Agosto de 2017). *Medline Plus*. Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002249.htm>
- MedlinePlus. (18 de Octubre de 2015). *MedlinePlues*. Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000360.htm>
- Mendoza, A. (1998). Estudio de las propiedades Mecanicas del Sistema Oseo. *Dialnet*.
- Mendoza, A. (1998). Estudio de las propiedades Mecánicas del Sistema Óseo. *Revista Ingeniería e Investigación*, 53-56. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingainv/article/viewFile/21059/22011>
- Michael H. Ross, R. W. (2007). *Texto y atlas color con biología celular y molecular*. Medica Panamericana.
- Rivera, G. C. (21 de Diciembre de 2011). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/76183041/Huesos-Largos>
- Rodriguez, J. F. (s.f.). *Biblioarqueologia*. Obtenido de <http://www.biblioarqueologia.com/doc/080306RODRIGUEZ2005.pdf>
- Saldaña, L. S., & Anduaga, E. S. (30 de Junio de 2005). Antisépticos y Desinfectantes. Perú.

- Sanchez, E. (19 de Agosto de 2016). Obtenido de [http://terapiahistoerika.blogspot.com.co/2016/08/histologia-de-tejido-oseo-la-histologia\\_19.html](http://terapiahistoerika.blogspot.com.co/2016/08/histologia-de-tejido-oseo-la-histologia_19.html)
- Sanzana Salamanca, E. S. (Septiembre de 2004). ESTUDIO COMPARATIVO DE LA UTILIDAD DE LOS CEMENTOS Y VIDRIOS BASADOS EN FOSFATOS DE CALCIO COMO SUSTITUTIVOS ÓSEOS EN DEFECTOS CAVITATORIOS EXPERIMENTALES. *ESTUDIO COMPARATIVO DE LA UTILIDAD DE LOS CEMENTOS Y VIDRIOS BASADOS EN FOSFATOS DE CALCIO COMO SUSTITUTIVOS ÓSEOS EN DEFECTOS CAVITATORIOS EXPERIMENTALES*. Barcelona, España.
- Silverstein JA, M. J. (2011). Common Issues In Orthopedics. Philadelphia.
- SINC. (18 de Abril de 2016). Cuanto más corra, mayor sera la densidad de sus huesos. *SINC*. Obtenido de <http://www.agenciasinc.es/Noticias/Cuanto-mas-corra-mayor-sera-la-densidad-de-sus-huesos>
- Ucha, F. (19 de Junio de 2012). *Definición ABC*. Obtenido de <https://www.definicionabc.com/ciencia/materia-organica.php>
- Vera, R., Guerrero, I., Araya, R., Delgado, D., Rojas, P., Cabrera, G., . . . Riffo, M. P. (s.f.). *PROYECTO INNOVA*. Obtenido de <http://www.mapadecorrosionatmosfericadechile.cl/uploads/publicaciones/DETERMINACION%20DE%20LA%20TENACIDAD%20DE%20LOS%20METALES%20Y%20ALEACIONES.pdf>
- Vidal, P. (7 de Diciembre de 2014). *Anatomia y Fisiologia Humanas*. Obtenido de <https://anatomiahumisabelprimera.wordpress.com/2014/12/07/estructura-de-los-huesos/>
- Voegeli, A. V. (2001). *Lecciones Básicas de Biomecánica del Aparato Locomotor*. Barcelona. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=SQIjKjpZwY8C&pg=PA50&lpg=PA50&dq=resistencia+a+la+flexion+del+hueso&source=bl&ots=guKCiq1AYb&sig=fSPdaZq6NAfRNHvm1mmbqjUG2Nc&hl=es->

419&sa=X&ved=0ahUKEwiRob3qvb7YAhUKLSYKHWvOBy44ChDoAQg5MA  
M#v=onepage&q=resistencia%20a%2

## 7. ANEXOS

### a. Tablas Características de los Agregados.

<b>GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS</b>				
<b>AUTORES</b>		ARDILA BARRETO JORGE SEBASTIAN	<b>PROYECTO DE GRADO</b>	MODIFICACION DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CONVENCIONAL A PARTIR DEL USO DEL TRITURADO DE HUESO COMO AGREGADO GRUESO PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.
		ECHEVERRY ARIAS JHON BAWINN	<b>DOCENTE</b>	
TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3 1/2"	0	0	0	100
2 1/2"	0	0	0	100
2"	0	0	0	100
1 1/2"	0	0	0	100
1"	27.3	0.56	0.56	99.44
3/4"	459.1	9.45	10.01	89.99
1/2"	1089.8	22.45	32.46	67.54
3/8"	1040.5	21.43	53.89	46.11
# 4	1389	28.61	82.5	17.5
FONDO	848.7	17.48	<b>99.98</b>	0.02
<b>TOTAL</b>	<b>4854.4</b>	<b>99.98</b>		
<b>TAMAÑO MAXIMO</b>		<b>1"</b>	<b>PESO DE LA MUESTRA (g)</b>	<b>4858</b>
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL</b>		<b>1/2"</b>		

Tabla 22. Granulometría de agregados gruesos. Fuente: propia.

<b>GRANULOMETRIA DE AGREGADOS FINOS.</b>					
<b>AUTORES</b>	ARDILA BARRETO JORGE SEBASTIAN		<b>PROYECTO DE GRADO</b>	MODIFICACION DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CONVENCIONAL A PARTIR DEL USO DEL TRITURADO DE HUESO COMO AGREGADO GRUESO PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	
	ECHEVERRY ARIAS JHON BAWINN		<b>DOCENTE</b>		
<b>TAMIZ</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>PORCENTAJE RETENIDO (%)</b>	<b>PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)</b>	<b>PORCENTAJE QUE PASA (%)</b>	
# 4	217.7	11.69	11.69	88.31	
# 8	197.2	10.59	22.29	77.71	
# 16	319.4	17.16	39.44	60.56	
# 30	509.4	27.36	66.81	33.19	
# 50	343.5	18.45	85.26	14.74	
# 100	162.9	8.75	94.01	5.99	
# 200	74.7	4.01	98.02	1.98	
FONDO	36.8	1.98	100.00	0.00	
<b>TOTAL</b>	<b>1861.6</b>	<b>100.00</b>			
<b>TAMAÑO MAXIMO</b>		<b>1"</b>	<b>PESO DE LA MUESTRA (g)</b>	<b>1870</b>	
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL</b>		<b>1/2"</b>			

Tabla 23. Granulometría de agregados finos. Fuente: propia.


<b>INDICES DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS.</b>								
<b>AUTORES</b>		ARDILA BARRETO JORGE SEBASTIAN		<b>PROYECTO DE GRADO</b>	MODIFICACION DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CONVENCIONAL A PARTIR DEL USO DEL TRITURADO DE HUESO COMO AGREGADO GRUESO PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.			
		ECHEVERRY ARIAS JHON BAWINN		<b>DOCENTE</b>				MORA SAMACA JAIME IVAN
<b>TAMIZ</b>		<b>MUESTRA</b>				<b>E = (C/A)* B</b>	<b>F = (D/A)*B</b>	
<b>PASA</b>	<b>RETIENE</b>	GRADACIÓN MUESTRA ORIGINAL (PESO EN g) A	GRADACIÓN MUESTRA ORIGINAL (% RETENIDO) B	PESO MATERIAL PASA CALIBRADOR DE APLANAMIENTO C	PESO MATERIAL PASA CALIBRADOR DE ALARGAMIENTO C	<b>INDICE DE APLANAMIENTO RELATIVO (%)</b>	<b>INDICE DE ALARGAMIENTO RELATIVO (%)</b>	
2" (50)	1 1/2" (37,5)	0	0	0	0	0	0	
1 1/2" (37,5)	1" (25)	27.3	2.73	0	0	0	0	
1" (25)	3/4" (19)	285	28.5	17.3	0	6.07	0	
3/4" (19)	1/2" (12,5)	364	36.4	100.5	112.9	27.6	31.01	
1/2" (12,5)	3/8" (9,5)	137.5	13.75	40	45.7	29.1	33.23	
3/8" (9,5)	1/4" (6,3)	186.2	18.62	60.4	49.2	32.44	26.42	
<b>TOTAL</b>		<b>1000</b>	<b>100</b>	<b>218.2</b>	<b>207.8</b>	<b>21.82</b>	<b>20.78</b>	
<b>CRITERIOS DE ACEPTACION DEL PRODUCTO CONCRETOS</b>								
INDICE DE APLANAMIENTO (%) I.AP.		<b>21.82</b>	I.AP. <= 30		<b>SI CUMPLE</b>			
INDICE DE ALARGAMIENTO (%) I.AL.		<b>20.7</b>	I.AL. <= 30		<b>SI CUMPLE</b>			

Tabla 24. Índice de aplanamiento y alargamiento. Fuente: propia.


<b>PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS</b>						
<b>TAMIZ</b>		GRADACIÓN MUESTRA ORIGINAL (PESO EN g)	GRADACIÓN MUESTRA ORIGINAL (% RETENIDO)	PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS	PESO MATERIAL CON CARAS NO FRACTURADAS O QUE NO CUMPLEN CRITERIO N	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS RELATIVO P = $[(F+(Q/2))/(F+Q+N)]*100$
PASA	RETIENE					
2 1/2" (63)	2" (50)	0	0	0	0	0
2" (50)	1 1/2" (37,5)	0	0	0	0	0
1 1/2" (37,5)	1" (25)	0	0	0	0	0
1" (25)	3/4" (19)	233.9	23.63	136	97.9	58.14
3/4" (19)	1/2" (12,5)	322.4	32.57	280.6	41.8	87.03
1/2" (12,5)	3/8" (9,5)	193.4	19.54	186.8	6.6	96.58
3/8" (9,5)	1/4" (6,3)	240	24.25	225.6	14.4	94
<b>TOTAL</b>		<b>989.7</b>	<b>99.99</b>	<b>829</b>	<b>160.7</b>	<b>83.76</b>
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS ABSOLUTO (%)			<b>83.76</b>	CRITERIO DE ACEPTACIÓN P > 50 %		<b>SI CUMPLE</b>

Tabla 25. Porcentaje de caras fracturadas. Fuente: propia.


<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINO.</b>				
<b>AUTORES</b>	ARDILA BARRETO JORGE SEBASTIAN	<b>PROYECTO DE GRADO</b>	MODIFICACION DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CONVENCIONAL A PARTIR DEL USO DEL TRITURADO DE HUESO COMO AGREGADO GRUESO PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	
	ECHEVERRY ARIAS JHON BAWINN	<b>DOCENTE</b>	MORA SAMACA JAIME IVAN	
<b>PRUEBAS</b>				<b>1</b>
PESO DEL PICNÓMETRO (g)			D	155
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA (CURVA DE CALIBRACIÓN) (g)			B	651.9
PESO DEL PICNÓMETRO + AGREGADO S.S.S. (g)			F	655
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + AGREGADO (g)			C	957.1
PESO SECO DEL AGREGADO (PESO DE LOS SÓLIDOS) (g)			A	489.3
PESO DEL AGREGADO S.S.S. (g)			S = F-D	500
VOLUMEN DE LOS SÓLIDOS SECOS (cm3)			B+A-C	184.4
AGUA EN LOS POROS DE LAS PARTICULAS (g)			S-A	10.7
VOLUMEN DE SÓLIDOS SATURADOS SUPERFICIALMENTE SECOS (cm3)			B+S-C	194.8
PESO ESPECIFICO APARENTE SECO (g/cm3) BULK			A/(B+S-C)	2.51
PESO ESPECIFICO APARENTE SATURADO (g/cm3) Gs.s.s.			S/(B+S-C)	2.57
PESO ESPECIFICO APARENTE O NOMINAL (g/cm3) G			A/(B+A-C)	2.65
<b>PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)</b>			<b>100* (S-A)/A</b>	<b>2.18</b>

Tabla 26. Gravedad Específica y Absorción fino. Fuente: propia.



<b>DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO.</b>			
<b>AUTORES</b>		<b>PROYECTO DE GRADO</b>	MODIFICACION DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CONVENCIONAL A PARTIR DEL USO DEL TRITURADO DE HUESO COMO AGREGADO GRUESO PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.
ARDILA BARRETO SEBASTIAN ECHEVERRY ARIAS JHON		<b>DOCENTE</b>	
		MORA SAMACA JAIME IVAN	
<b>PRUEBAS</b>		<b>MUESTRA ORIGINAL (g)</b>	
			<b>3000</b>
PESO SECO DE LA MUESTRA EN EL AIRE (PESO DE LOS SOLIDOS) (g)		A	2889.2
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA S.S.S. (g)		B	2985.4
PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA S.S.S. (g)		C	1808.9
PESO DEL AGUA (EN UN VOLUMEN IGUAL AL VOLUMEN APARENTE DE LOS SOLIDOS) (g)		A-C	1086.3
PESO DEL AGUA (EN UN VOLUMEN IGUAL AL VOLUMEN NOMINAL DE LOS SOLIDOS) (g)		B-C	1182.5
AGUA ABSORBIDA EN LOS POROS DE LAS PARTICULAS (g)		B-A	96.2
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Gsb (g/cm <sup>3</sup> )		A/(B-C)	2.44
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK S.S.S. Gsbs.s.s. (g/cm <sup>3</sup> )		B/(B-C)	2.52
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE Gsa (g/cm <sup>3</sup> )		A/(A-C)	2.65
<b>PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)</b>		<b>[(B-A)/A]*100</b>	<b>3.3</b>

Tabla 27. Densidad, Densidad Relativa y Absorción Agregado Grueso. Fuente: propia.

<b>DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DE TRITURADO DE HUESO COMO AGREGADO GRUESO.</b>			
<b>AUTORES</b>		<b>PROYECTO DE GRADO</b>	MODIFICACION DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CONVENCIONAL A PARTIR DEL USO DEL TRITURADO DE HUESO COMO AGREGADO GRUESO PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.
ARDILA BARRETO SEBASTIAN ECHEVERRY ARIAS JHON		<b>DOCENTE</b>	
		MORA SAMACA JAIME IVAN	
<b>PRUEBAS</b>		<b>MUESTRA ORIGINAL (g)</b>	
			<b>3000</b>
PESO SECO DE LA MUESTRA EN EL AIRE (PESO DE LOS SOLIDOS) (g)		A	2397.4
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA S.S.S. (g)		B	3000
PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA S.S.S. (g)		C	1343.6
PESO DEL AGUA (EN UN VOLUMEN IGUAL AL VOLUMEN APARENTE DE LOS SOLIDOS) (g)		A-C	1053.8
PESO DEL AGUA (EN UN VOLUMEN IGUAL AL VOLUMEN NOMINAL DE LOS SOLIDOS) (g)		B-C	1656.4
AGUA ABSORBIDA EN LOS POROS DE LAS PARTICULAS (g)		B-A	602.6
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Gsb (g/cm <sup>3</sup> )		A/(B-C)	1.447
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK S.S.S. Gsbs.s.s. (g/cm <sup>3</sup> )		B/(B-C)	1.811
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE Gsa (g/cm <sup>3</sup> )		A/(A-C)	2.27
<b>PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)</b>		<b>[(B-A)/A]*100</b>	<b>25.1</b>

Tabla 28. Densidad, Densidad Relativa y Absorción Agregado Grueso hueso. Fuente: propia.

<b>PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS.</b>			
<b>AUTORES</b>	ARDILA BARRETO JORGE SEBASTIAN	<b>PROYECTO DE GRADO</b>	MODIFICACION DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CONVENCIONAL A PARTIR DEL USO DEL TRITURADO DE HUESO COMO AGREGADO GRUESO PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.
	ECHEVERRY ARIAS JHON BAWINN	<b>DOCENTE</b>	MORA SAMACA JAIME IVAN
<b>TIPO</b>		<b>PORCENTAJE DE HUMEDAD</b>	
AGREGADO GRUESO		<b>2.08 %</b>	
AGREGADO FINO		<b>6.95 %</b>	
AGREGADO TRITURADO DE HUESO		<b>15.2 %</b>	

Tabla 29. Porcentaje de Humedad. Fuente: propia.

<b>RESISTENCIA A LA ABRASIÓN TRITURADO DE HUESO POR EL METODO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES (PRUEBA DE DESGASTE).</b>			
<b>AUTORES</b>	ARDILA BARRETO JORGE SEBASTIAN	<b>PROYECTO DE GRADO</b>	MODIFICACION DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CONVENCIONAL A PARTIR DEL USO DEL TRITURADO DE HUESO COMO AGREGADO GRUESO PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.
	ECHEVERRY ARIAS JHON BAWINN	<b>DOCENTE</b>	MORA SAMACA JAIME IVAN
PESO MUESTRA INICIAL PASA TAMIZ 1" (g)			5000
PESO FINAL (g)			2475.3
<b>PORCENTAJE DE DESGASTE (%)</b>			<b>50</b>

Tabla 30. Resistencia a la abrasión por el método de la máquina de las ángeles. Fuente: propia.

<b>EQUIVALENTE DE ARENA METODO DE LA SOLUCION STOCK.</b>			
<b>AUTORES</b>	ARDILA BARRETO JORGE SEBASTIAN	<b>PROYECTO DE GRADO</b>	MODIFICACION DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CONVENCIONAL A PARTIR DEL USO DEL TRITURADO DE HUESO COMO AGREGADO GRUESO PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.
	ECHEVERRY ARIAS JHON BAWINN	<b>DOCENTE</b>	MORA SAMACA JAIME IVAN
<b>PESO DE LA MUESTRA PASA TAMIZ NUMERO 4 (g)</b>		120	<b>COLUMNA DE ARCILLA (mm)</b>
MUESTRA 1			16
MUESTRA 2			16
MUESTRA 3			16
			<b>COLUMNA DE ARENA (mm)</b>
			73
			77
			67

Tabla 31. Equivalente de arena método de la solución Stock. Fuente: propia.

<b>CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA.</b>					
<b>AUTORES</b>	ARDILA BARRETO JORGE SEBASTIAN		<b>PROYECTO DE GRADO</b>	MODIFICACION DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CONVENCIONAL A PARTIR DEL USO DEL TRITURADO DE HUESO COMO AGREGADO GRUESO PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	
	ECHEVERRY ARIAS JHON BAWINN		<b>DOCENTE</b>	MORA SAMACA JAIME IVAN	
<b>COLORACIÓN</b>	AMARILLO CLARO			<b>DATOS DE LA IMAGEN</b>	
<b>ESCALA DE COLOR</b>	1			<b>FECHA</b>	jueves, 3 de agosto de 2017
<b>CLASIFICACIÓN</b>	LIMPIA			<b>FUENTE</b>	PROPIA, CELULAR SEBASTIAN ARDILA
				<b>DESCRIPCION</b>	FOTOGRAFIA COMPARATIVO CON LA ESCALA DE COLOR Y LA MUESTRA SEDIMENTADA
			<b>NUMERO DE LA IMAGEN</b>	<b>30</b>	

Tabla 32. Contenido de materia Orgánica. Fuente: propia.

<b>RESULTADOS PRUEBAS DE PURIFICACIÓN DEL TRITURADO DE HUESO A PARTIR DE LA INMERSIÓN EN CLORO</b>									
<b>AUTORES</b>	ARDILA BARRETO JORGE SEBASTIAN				<b>PROYECTO DE GRADO</b>	MODIFICACION DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CONVENCIONAL A PARTIR DEL USO DEL TRITURADO DE HUESO COMO AGREGADO GRUESO PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.			
	ECHEVERRY ARIAS JHON BAWINN				<b>DOCENTE</b>	MORA SAMACA JAIME IVAN			
<b>FECHA</b>	13/08/2017			<b>PROCESO</b>	No2	<b>RESULTADO</b>		Exitoso	
<b>No PRUEBA</b>	<b>TIEMPO INICIAL</b>	<b>TIEMPO FINAL</b>	<b>TIEMPO TRANSCURRIDO</b>	<b>OLOR</b>	<b>COLOR</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>		
Primera Observación	10:24 a. m.	10:34 a. m.	10 min	Inodoro	Blanco Claro	Normal	Eliminación exitosa de materia organica		
Segunda Observación	10:24 a. m.	10:44 a. m.	20 min	Inodoro	Blanco Claro	Normal	Aumento en el espesor de la capa de materia organica muerta		
Tercera Observación	10:24 a. m.	10:54 a. m.	30 min	Inodoro	Blanco Claro	Normal	El espesor de la capa de materia organica muerta se conserva		
Cuarta Observación	10:24 a. m.	11:04 p. m.	40 min	Inodoro	Blanco Claro	Normal	El espesor de la capa de materia organica muerta se conserva		
Quinta Observación	10:24 a. m.	11:14 p. m.	50 min	Inodoro	Blanco Claro	Normal	El espesor de la capa de materia organica muerta se conserva		
Sexta Observación	10:24 a. m.	11:24 p. m.	1 hora	Inodoro	Blanco Claro	Normal	El espesor de la capa de materia organica muerta se conserva		
Septima Observación	10:24 a. m.	12:24 p. m.	2 horas	Inodoro	Blanco Claro	Normal	El espesor de la capa de materia organica muerta se conserva		
Octava Observación	10:24 a. m.	1:24 p. m.	3 horas	Inodoro	Blanco Claro	Normal	El espesor de la capa de materia organica muerta se conserva		
Novena Observación	10:24 a. m.	2:24 p. m.	4 horas	Inodoro	Blanco Claro	Normal	El espesor de la capa de materia organica muerta se conserva		
Decima Observación	10:24 a. m.	3:24 p. m.	5 horas	Inodoro	Blanco Claro	Normal	El espesor de la capa de materia organica muerta se conserva		
Onseava Observación	10:24 a. m.	7:24 p. m.	9 horas	Inodoro	Blanco Claro	Normal	El espesor de la capa de materia organica muerta se conserva		
Doseava Observación	10:24 a. m.	11:24 p. m.	13 horas	Inodoro	Blanco Claro	Normal	El espesor de la capa de materia organica muerta se conserva		
Treceava Observación	10:24 a. m.	3:24 a. m.	17 horas	Inodoro	Blanco Claro	Normal	El espesor de la capa de materia organica muerta se conserva		
Catorceava Observación	10:24 a. m.	7:24 a. m.	21 horas	Inodoro	Blanco Claro	Normal	El espesor de la capa de materia organica muerta se conserva		
Quinseava Observación	10:24 a. m.	10:24 a. m.	24 horas	Inodoro	Blanco Claro	Normal	El espesor de la capa de materia organica muerta se conserva		

Tabla 33. Pruebas de Purificación del triturado de hueso con cloro. Fuente: propia.

<b>RESULTADOS PRUEBAS DE PURIFICACIÓN DEL TRITURADO DE HUESO A PARTIR DE EXPOSICIÓN A ALTAS TEMPERATURAS - MUFLA</b>						
<b>AUTORES</b>		ARDILA BARRETO JORGE SEBASTIAN		<b>PROYECTO DE GRADO</b>	MODIFICACION DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CONVENCIONAL A PARTIR DEL USO DEL TRITURADO DE HUESO COMO AGREGADO GRUESO PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	
		ECHEVERRY ARIAS JHON BAWINN		<b>DOCENTE</b>	MORA SAMACA JAIME IVAN	
<b>FECHA</b>	11/08/2017	<b>PROCESO</b>		No1	<b>RESULTADO</b>	Fallido
<b>TEMPERATURA</b>		300 °C		<b>OBSERVACIONES</b>	Al transcurrir 11 minutos el hueso tomo un estado calsinado	
<b>PESO DE LA MUESTRA</b>		200 g			A pesar de la calsinación de una parte del material la otra parte muestra apariencia normal	
<b>TIEMPO INICIAL</b>		12:00 p. m.			En la muestra el olor cambio permitiendo concluir que se elimino parte de la materia organica	
<b>TIEMPO FINAL</b>		12:11 p. m.		<b>CONCLUSIÓN</b>	El Triturado de hueso no es apto para este proceso.	
<b>TIEMPO TRANSCURRIDO</b>		11 Minutos				

Tabla 34. Pruebas de Purificación del triturado de hueso con Exposición a altas temperaturas. Fuente: propia.

<b>PRUEBA PH DEL HUESO TRITURADO LUEGO DEL PROCESO DE PUREFICACIÓN</b>							
<b>AUTORES</b>		ARDILA BARRETO JORGE SEBASTIAN		<b>PROYECTO DE GRADO</b>	MODIFICACION DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CONVENCIONAL A PARTIR DEL USO DEL TRITURADO DE HUESO COMO AGREGADO GRUESO PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.		
		ECHEVERRY ARIAS JHON BAWINN		<b>DOCENTE</b>	MORA SAMACA JAIME IVAN		
<b>FECHA</b>	18/08/2017	<b>PROCESO</b>		No1	<b>RESULTADO</b>	Exitoso	
<b>TIEMPO INICIAL</b>		8:56 a. m.		<b>TIEMPO FINAL</b>		9:56 a. m.	
<b>TIEMPO TRANSCURRIDO</b>						1 hora	
<b>DESCRIPCIÓN</b> Se midio el pH de las siguientes 4 muestras descritas acontinuación con el lector de pH (pHmetro) y la cinta tornasol							
<b>MUESTRA 1</b>		<b>MUESTRA 2</b>		<b>MUESTRA 3</b>		<b>MUESTRA 4</b>	
<b>FUENTE</b>		<b>FUENTE</b>		<b>FUENTE</b>		<b>FUENTE</b>	
Propia		Propia		Propia		Propia	
<b>No IMAGEN</b>		<b>No IMAGEN</b>		<b>No IMAGEN</b>		<b>No IMAGEN</b>	
1		2		3		4	
<b>PESO</b>		<b>PESO</b>		<b>PESO</b>		<b>PESO</b>	
200 g		200 g		200 g		200 g	
<b>NOMBRE</b>		<b>NOMBRE</b>		<b>NOMBRE</b>		<b>NOMBRE</b>	
COLORO		LAVADO 1		LAVADO2		LAVADO FIN	
<b>CONTENIDO</b>		<b>CONTENIDO</b>		<b>CONTENIDO</b>		<b>CONTENIDO</b>	
Cloro utilizado en el proceso de purificación bajo la capa de materia organica muerta		Agua del primer lavado que consto de 2 litros de agua		Agua del segundo lavado que consto de 2 litros de agua		Agua del tercer lavado o final que consto de 2 litros de agua	
<b>pHmetro</b>	8.4	<b>pHmetro</b>	8.6	<b>pHmetro</b>	7.3	<b>pHmetro</b>	7
<b>Cinta Tornasol</b>	6 - 7	<b>Cinta Tornasol</b>	6 - 7	<b>Cinta Tornasol</b>	7 - 3	<b>Cinta Tornasol</b>	8 - 9
<b>CLASIFICACIÓN</b>	ALCALINO	<b>CLASIFICACIÓN</b>	ALCALINO	<b>CLASIFICACIÓN</b>	ALCALINO	<b>CLASIFICACIÓN</b>	ALCALINO

Tabla 35. Prueba pH del hueso Triturado. Fuente: propia.

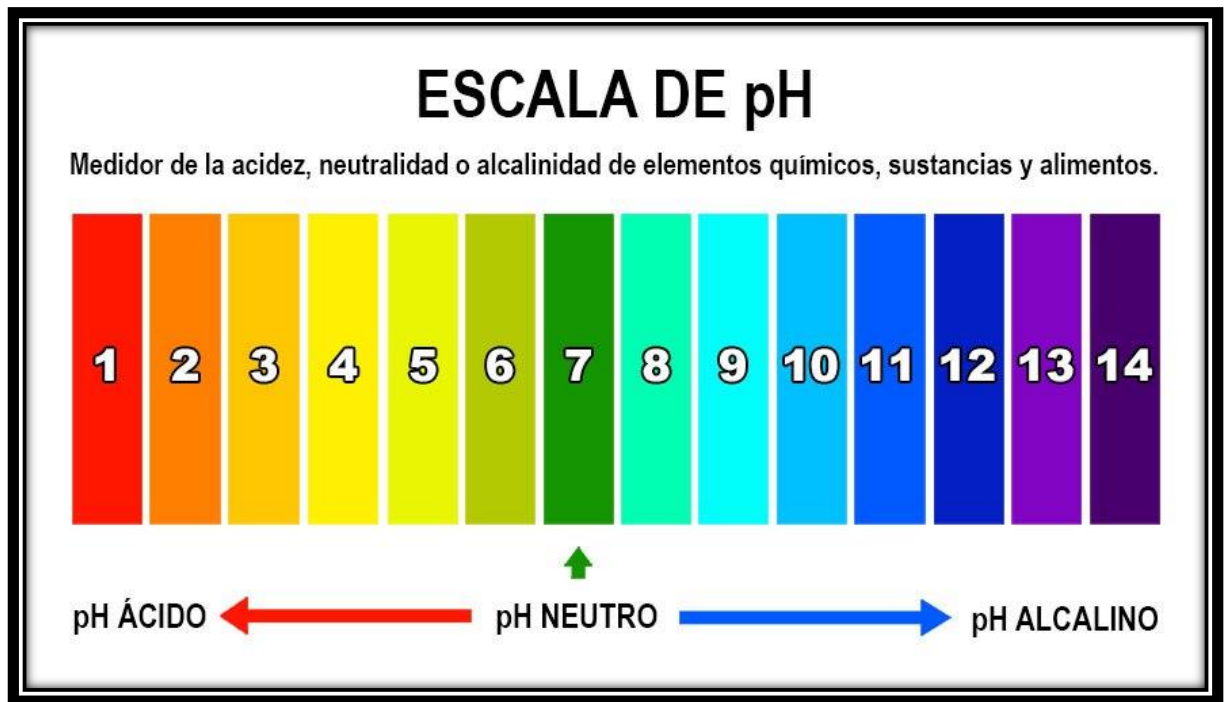


Imagen 19. Escala De pH Fuente: Organic Andorra.