

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL
CONCRETO CON REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO POR
OSAMENTAS DE ANIMALES CALCINADAS Y PULVERIZADAS”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

JHONNY STALIN VACA PILLAJO

jhonny.vaca@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. GERMÁN VINICIO LUNA HERMOSA, MBA.

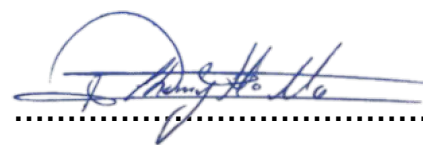
german.luna@epn.edu.ec

Quito, septiembre 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Jhonny Stalin Vaca Pillajo**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer usos de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Jhonny Stalin Vaca Pillajo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jhonny Stalin Vaca Pillajo, bajo mi supervisión.

.....

Ing. Germán Luna Hermosa, MBA

Director del Proyecto

DEDICATORIA

A mi madre Fanny Pillajo y mi padre Segundo Vaca sin sus enseñanzas y valores esto no habría sido posible, sin duda son mi motor para seguir adelante con paso firme por el camino del bien. De manera especial a mi madre, pues ella es el principal cimiento para la construcción de mi vida

A mi hermana Elizabeth Vaca que, pese a nuestras eventuales diferencias, ha sido uno de los principales motivos para que esta meta fuera posible. Te quiero hermana.

A mis familiares, con sus consejos han logrado que sea una persona de bien.

A mi primo Alex Paul Endara quien me ayudó a fortalecer mis conocimientos y que de alguna manera me sigue guiando.

Jhonny Stalin Vaca Pillajo

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme salud y sabiduría, por guiarme en todo el proceso y poder culminar con éxito.

A mis padres: Fanny y Segundo por siempre apoyarme en cada decisión tomada y formarme con buenos valores desde el día en que nací. A mi hermana Elizabeth por el cariño que me ha brindado.

A mi familia en especial a Gonzalo, Néstor, Luis, Carlos, Fausto, Gladys, Julia, Liliana, Evelin, por brindarme su apoyo y consejos que han sido útiles en toda mi carrera y me han demostrado que la familia siempre es primero.

A mi abuelita Julia, mi segunda madre, por todo su amor y cariño, todos los consejos sabios que me ayudan a formarme profesionalmente.

A Diana por brindarme todo su apoyo y amor incondicional durante todo este proceso, por impulsarme a mejorar cada día y estar ahí en mis triunfos y fracasos.

A mi director de tesis Ing. Germán Luna por la ayuda necesaria para culminar con este trabajo de investigación.

A mis amigos y compañeros de la EPN: Cesarin, Eduardo, Richy, Sebas, Irvin, Álvaro, Diego, Carlitos, Pancho, Lisbeth, Caty, Pame, Dianita, Sol, Amanda, gracias por su amistad incondicional y todas las anécdotas vividas haciendo de la universidad un lugar mejor. A Luis Romero que de una u otra manera también fue parte de este proceso.

Al LEMSUR, especialmente Ing. Gabriel Merino por toda la ayuda con los ensayos.

Finalmente, quiero agradecer a la Escuela Politécnica Nacional por abrirme sus puertas y ser parte de esta prestigiosa institución, la cual me llevo los mejores conocimientos.

Jhonny Stalin Vaca Pillajo

CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
CERTIFICACIÓN.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
RESUMEN	XV
ABSTRACT.....	XVI
PRESENTACIÓN	XVII
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3. ALCANCE	3
1.4. JUSTIFICACIÓN	3
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO	5

2.1.	LA PUZOLANA	5
2.2.	FAENAMIENTO EN ECUADOR.....	5
2.3.	EFFECTOS DE CONTAMINACION A CAUSA DE RESIDUOS DE OSAMENTAS DE ANIMALES	6
2.4.	RECICLAJE Y USO DE OSAMENTAS DE ANIMALES EN ECUADOR.....	7
2.5.	EL HUESO	8
2.5.1.	ANTECEDENTES.....	8
2.5.2.	ANATOMÍA DEL HUESO	10
2.5.3.	BIOMECÁNICA DEL HUESO	10
2.5.4.	OBTENCIÓN DEL HUESO CORTICAL.....	11
2.5.5.	ELIMINACIÓN Y LIMPIEZA DE LA MATERIA ORGÁNICA	11
2.5.6.	CALCINACIÓN Y TRITURACIÓN DEL HUESO	12
2.6.	TIPOS DE HORNOS INCINERADORES.....	13
2.7.	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	14
2.7.1.	IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES.....	14
2.8.	HORMIGÓN	16
2.8.1.	CEMENTO.....	16
2.8.1.1.	Clasificación de cemento por desempeño	16
2.8.2.	AGREGADOS PÉTREOS.....	18
2.8.2.1.	Agregado Fino.....	18
2.8.2.2.	Agregado grueso.....	19
2.8.3.	PORCENTAJE DE AGUA EN EL HORMIGÓN.....	19
2.9.	PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO.....	20

2.9.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	20
2.9.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	21
2.9.3. FACTORES QUE INFLUYEN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN ...	21
2.9.3.1. El agua.....	21
2.9.3.2. Relación agua/cemento.....	21
2.9.3.3. Agua de curado.....	22
2.9.3.4. Edad y curado del hormigón.....	22
2.9.3.5. Volumen de los agregados.....	22
CAPÍTULO III.....	24
METODOLOGÍA.....	24
3.1 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES QUE CONFORMAN LOS ESPECÍMENES DE HORMIGÓN.....	24
3.1.1. ENSAYO DE AGREGADOS.....	24
3.1.1.1. Granulometría de agregados.....	24
3.1.1.2. Densidad Aparente de agregados	28
3.1.1.3. Peso específico y absorción de los agregados.....	31
3.1.1.4. Contenido Orgánico de la arena.....	35
3.1.1.5. Abrasión de agregado grueso	36
3.1.1.6. Densidad del cemento.....	39
3.2. ENSAYOS DE CENIZA DE OSAMENTAS DE ANIMALES	39
3.2.1. DENSIDAD APARENTE DE LA CENIZA DE OSAMENTAS DE ANIMALES.....	39
3.2.2. DENSIDAD REAL DE LA CENIZA DE OSAMENTAS DE ANIMALES ..	40
3.3. OBTENCIÓN DE OSAMENTAS DE ANIMALES.....	41

3.4.	CALCINACIÓN DE OSAMENTAS DE ANIMALES.....	42
3.5.	TRITURACION Y PULVERIZADO DE LOS HUESOS CALCINADOS	44
3.6.	DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN	45
3.6.1.	DOSIFICACIÓN PARA PROBETAS CON CENIZA DE HUESO CALCINADO	48
3.7.	ELABORACIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN	49
3.8.	ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS	51
	CAPÍTULO IV	52
	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	52
4.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS	52
4.2.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	52
4.2.1.	DISMINUCIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS.....	56
4.3.	ANÁLISIS ECONOMICO	59
	CAPITULO V.....	61
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
5.1.	CONCLUSIONES	61
5.2.	RECOMENDACIONES.....	63
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	64
	ANEXOS	68
	ANEXO 1.....	69

Informe de análisis granulométrico del agregado fino.....	69
ANEXO 2.....	71
Informe de análisis granulométrico del agregado grueso.....	71
ANEXO 3.....	73
Informe de densidad aparente de agregado fino y grueso.....	73
ANEXO 4.....	75
Informe de peso específico y absorción de agregado fino y grueso	75
ANEXO 5.....	77
Informe de contenido orgánico del agregado fino	77
ANEXO 6.....	79
Informe de abrasión del agregado grueso	79
ANEXO 7.....	81
Informe de la densidad real y aparente de la ceniza de hueso calcinado	81
ANEXO 8.....	84
Dosificación del hormigón por el método de la ACI 211.1.....	84
ANEXO 9.....	88
Informe del ensayo de resistencia a compresión de las probetas a los 28 días .	88
ANEXO 10.....	91
Análisis de precios unitarios de hormigón estándar y hormigón con reemplazo de ceniza de huesos calcinados.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valoración porcentual de alternativas.	15
Tabla 2. Requisitos físicos normalizados.....	17
Tabla 3. Influencia de la relación agua/cemento en la resistencia del cemento. ...	21
Tabla 4. Volumen del agregado grueso por m ³ de hormigón	23
Tabla 5. Requerimiento de gradación para agregado fino	25
Tabla 6. Tamaño de muestra para granulometría de agregado grueso.	27
Tabla 7. Capacidad del molde de acuerdo al tamaño del agregado	29
Tabla 8. Cantidad de agregado grueso mínimo en condición SSS.	34
Tabla 9. Comparador Escala de Gardner	36
Tabla 10. Gradación de agregados para ensayo de abrasión.....	37
Tabla 11. Carga abrasiva para agregados gruesos	37
Tabla 12. Densidad del cemento Holcim tipo GU	39
Tabla 13. Observaciones de los huesos calcinados	43
Tabla 14. Cantidad de material en condiciones secas	45
Tabla 15. Dosificación en peso relativo	46
Tabla 16. Dosificación al volumen	46
Tabla 17. Clave de código.....	47
Tabla 18. Códigos y peso de ceniza para 1 m ³ de hormigón	47
Tabla 19. Material para cada temperatura de calcinación y porcentaje de reemplazo.....	48
Tabla 20. Resistencia a compresión de cilindros con ceniza calcinada a 600 °C..	52
Tabla 21. Resistencia a compresión de cilindros con ceniza calcinada a 900 °C..	53

Tabla 22. Resistencia a compresión de cilindro con ceniza calcinada a 1200 °C .54

Tabla 23. Comparación de costos entre hormigón estándar y hormigón con
reemplazo de ceniza de hueso calcinado60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estadísticas anuales de faenamiento por número de cabezas	6
Figura 2. Botadero de osamentas de animales en el Cantón Saquisilí.....	7
Figura 3. Vista transversal del hueso.	9
Figura 4. Estructura de los huesos largos.	10
Figura 5. Muestras de hueso cortical.....	11
Figura 6. huesos con materia orgánica incluida.	12
Figura 7. Cemento Hidráulico.....	17
Figura 8. Tipos de fallas en probetas de hormigón.....	20
Figura 9. Arena fina para tamizar en serie de tamices	25
Figura 10. Agregado grueso seco	27
Figura 11. Serie de tamices para agregado grueso.....	28
Figura 12. Agregado fino seco durante 24 horas.....	29
Figura 13. Llenado de capas con arena fina.....	30
Figura 14. Densidad aparente del agregado grueso.....	31
Figura 15. Determinación de arena fina en condiciones SSS.....	32
Figura 16. Llenado de agua hasta el limite.....	33
Figura 17. Comparador de color de contenido orgánico.....	36
Figura 18. Esferas de acero	38
Figura 19. Osamentas de animales bovinos.....	42
Figura 20. Horno Eléctrico.....	42
Figura 21. Fases de coloración del hueso calcinado a diferentes temperaturas..	43
Figura 22. Trituración de hueso calcinado.....	44

Figura 23. Tamizado de ceniza de hueso calcinado.....	44
Figura 24. Cilindros de metal	49
Figura 25. Mezcla de hormigón.....	49
Figura 26. Moldeo de Cilindros.....	50
Figura 27. Curado de probetas.....	50
Figura 28. Variación de $f'c$ en función al % de ceniza calcinada a 600 °C	53
Figura 29. Variación de $f'c$ en función al % de ceniza calcinada a 900 °C	54
Figura 30. Variación de $f'c$ en función al % de ceniza calcinada a 1200 °C	55
Figura 31. Variación de $f'c$ en función al % de ceniza calcinada	55
Figura 32. Variación porcentual de resistencia a compresión vs reemplazo de porcentaje de ceniza calcinada a 600 °C en el cemento	56
Figura 33. Variación porcentual de resistencia a compresión vs reemplazo de porcentaje de ceniza calcinada a 900 °C en el cemento	56
Figura 34. Variación porcentual de resistencia a compresión vs reemplazo de porcentaje de ceniza calcinada a 1200 °C en el cemento	57
Figura 35. Variación de $f'c$ con 10% de reemplazo de ceniza calcinada vs temperatura de calcinación	57
Figura 36. Variación de $f'c$ con 12.5% de reemplazo de ceniza calcinada vs temperatura de calcinación	58
Figura 37. Variación de $f'c$ con 15% de reemplazo de ceniza calcinada vs temperatura de calcinación	58
Figura 38. Variación general de $f'c$ con reemplazo de ceniza calcinada vs temperatura de calcinación	59

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad dar a conocer el comportamiento mecánico de las probetas de concreto, adicionando ceniza de hueso calcinado en la dosificación como reemplazo parcial del cemento hidráulico tipo GU en diferentes porcentajes, para una resistencia a compresión de 24 MPa en 28 días, con el propósito de comparar los resultados con la compresión simple de los cilindros correspondiente a una dosificación estándar. En la dosificación de hormigón con reemplazo, se usará ceniza de hueso calcinada a 600, 900, 1200 °C durante una hora, con diferentes porcentajes 10, 12.5, 15 % para cada una de las temperaturas.

La finalidad de este estudio es mitigar el impacto ambiental que ocasiona este tipo de residuos (osamentas de animales), la obtención de la materia prima principalmente fue de los mercados de carnes y camales donde faenan, que es donde existe mayor nivel de tipo de residuo orgánico.

La parte experimental se da primero en la calcinación del hueso a distintas temperaturas con el fin de eliminar la materia orgánica que puede alterar el comportamiento del hormigón; se procede a triturarlo y pulverizarlo de forma mecánica o manual para pasarlo por el tamiz No 200 y pueda tener la finura apropiada para el reemplazo parcial del cemento, se elaboraron un total de 30 probetas siendo tres de dosificación estándar; nueve probetas con ceniza de hueso calcinado a una temperatura de 600 °C, nueve con ceniza de hueso calcinada a 900 °C y nueve con ceniza de hueso calcinada a 1200 °C.

Los resultados se basan en la comparación de la resistencia a compresión entre los especímenes según el porcentaje de reemplazo, temperatura de calcinación con la resistencia estándar conocida, además se realiza un análisis económico para determinar si es o no favorable incorporar la materia prima en la construcción.

Palabras clave: Ceniza de hueso, Resistencia a Compresión, Hormigón estándar, Temperatura de calcinación, Porcentaje de reemplazo., Impacto ambiental.

ABSTRACT

The purpose of this research work is to publicize the mechanical behavior of concrete specimens, adding calcined bone ash in the dosage as a partial replacement of GU-type hydraulic cement in different percentages, for a compressive strength of 24 MPa in 28 days, for the purpose of comparing the results of simple cylinder compression with a standard dosage and the dosage of concrete with replacement of calcined ash at (600, 900, 1200) °C and different percentages (10, 12.5, 15) % for each of the temperatures.

The purpose of this study is to mitigate the environmental impact caused by this type of waste (animal bones), the obtaining of the raw material was mainly from the meat and shrimp markets where they fish, which therefore there is greater waste.

The experimental part occurs first in the calcination of the bone at different temperatures in order to eliminate the organic matter that can alter the behavior of concrete, it is crushed and sprayed mechanically and manually to pass it through sieve No. 200 and can have the appropriate density for the replacement of cement, a total of 30 specimens were elaborated, 3 of standard dosing, 9 for a temperature of 600 °C, 9 to 900 °C and 9 to 1200 °C.

The results are based on the comparison of the compressive strength between the specimens according to the percentage of replacement, temperature with known standard resistance, in addition, an economic analysis is carried out to determine whether or not it is favorable to incorporate the raw material in the field of construction.

Keywords: Bone ash, Compressive strength, Standard Concrete, Calcination Temperature, Replacement Percentage, Environmental impact.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo de titulación está compuesto por cinco capítulos, desarrollados de la siguiente manera:

Capítulo 1: Contiene las generalidades como son: la Introducción con todo lo referente a las osamentas de animales y su adaptación en la construcción, se plantea el objetivo general, objetivos específicos, alcance y justificación de acuerdo al tema planteado para la realización de la investigación.

Capítulo 2: Contiene la parte teórica, iniciando con generalidades referente a las características de las osamentas de animales y los efectos de contaminación que puede causar al medio ambiente; se detalla también las alternativas de hornos para el proceso de calcinación, y como parte final se detalla todo sobre el hormigón: sus agregados y sus características.

Capítulo 3: Se detalla la metodología empleada, basándose en normas de ensayos como son: caracterización de materiales, ensayos de densidad de la ceniza de hueso calcinado y el procedimiento para la dosificación del hormigón estándar y con reemplazo parcial de ceniza de hueso y a su vez se muestra el proceso de moldeado de los cilindros para determinar la resistencia a compresión.

Capítulo 4: Se analizan los resultados de los ensayos realizados de resistencia a compresión de las probetas, y mediante tablas de variación y curvas de porcentajes se realiza la comparación entre la resistencia de hormigón estándar con la resistencia obtenida con el reemplazo de ceniza de hueso calcinado a diferentes temperaturas y porcentajes; además se analiza el costo directo que existe de las dos dosificaciones.

Capítulo 5: Se presenta las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron en el presente proyecto.

Por último, se adjunta la bibliografía y los anexos que presente el proyecto

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La evolución del concreto durante las últimas décadas en la industria de la construcción ha permitido desarrollar distintos diseños de mezclas que van de la mano con el ahorro y de la protección del medio ambiente, mejorando las características o propiedades deseadas, tales como una mayor resistencia, durabilidad y trabajabilidad del concreto (Pedraza, Riveira, & Velázquez, 2017).

La búsqueda de materiales alternativos ha dado como resultado encontrar un material ideal y adaptable con propiedades mecánicas, físicas y químicas en el sistema óseo de todos los seres vivos, apto para su uso en mezclas de concreto (Mora, 2019).

(Adekunle & Ogundaini, 2019) califican la ceniza del hueso bovino como puzolana, debido a que, contiene mayor porcentaje de óxido de calcio y menor porcentaje de silicio que el cemento, catalogándolo como puzolana tipo C, según la ASTM C618-22.

El hueso está compuesto por componentes orgánicos e inorgánicos, y para utilizarlo en el hormigón se debe utilizar la parte inorgánica, porque todos los elementos orgánicos en el hormigón, cuando llegan a un estado de descomposición, provocan deterioro (Sánchez, 2001).

“Los huesos del ganado están destinados principalmente para la fabricación de cola, gelatina, grasa de huesos, carbón activado, carbón animal, harina de huesos, para la producción de botones, piezas de ajedrez, dados, mangos de cuchillos y aislantes eléctricos” (Changoluisa & Oña, 2018).

En la ciudad de Nobol, ubicada en la provincia de Guayas, nació un emprendimiento en el año 2013, con el nombre de Rendering del Ecuador, el cual se encarga de

transformar los despojos óseos que provienen del ganado vacuno, en un innovador insumo para la industria minera y para la cerámica, a base de la incineración de los huesos de res (Basantes, 2016).

En 2014, se registraron 24 toneladas de contaminantes óseos por mes, causando daños al medio ambiente. En esa época sus principales proveedores eran camales, embutidoras y mercado de carnes de las ciudades de la Concordia, Cuenca, Santo Domingo y Guayaquil; Esteban Moscoso, director de gestión de residuos de Servicios Rastro de Cuenca, aseguraba que al mes esta dependencia entregaba 2000 a 2500 cabeza de ganado (Basantes, 2016).

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar y evaluar la influencia de las osamentas de animales calcinadas como reemplazo parcial del cemento, creando un material más amigable con el medio ambiente para emplearlo en la industria de la construcción.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las propiedades físicas-mecánicas de la ceniza de osamentas de animales que se utilizarán el diseño del hormigón bio-compuesto, mediante ensayos de laboratorio.
- Determinar el porcentaje óptimo de la ceniza de osamentas de animales empleado en el diseño de hormigón para obtener una óptima resistencia a compresión.
 - Determinar la temperatura óptima para la calcinación de las osamentas de animales.
 - Realizar la comparación de la resistencia de compresión de hormigón bio-compuesto con la ceniza de osamentas de animales y un hormigón estándar.
 - Determinar en qué condiciones las osamentas de animales benefician más a la industria de la construcción y al medio ambiente.

1.3. ALCANCE

El presente estudio es un método cuantitativo de tipo experimental que utiliza datos obtenidos durante ensayos de laboratorio que determinarán las alternativas ideales de factores, condiciones y dosificaciones para aumentar la resistencia a la compresión del concreto, basada en un conjunto de datos numéricos, por medio de procesos secuenciales.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Es necesario crear nuevos materiales que sean completamente ecológicos, económicos y útiles en la construcción (Hernandez, 2011). Ya que los principales componentes del concreto son cemento, agua y agregados (ripió y arena) que se extraen principalmente de canteras, impactando al medio ambiente.

El componente principal de los huesos de todos los organismos vivos es el óxido de calcio, por tal motivo se usará las osamentas de animales calcinados como insumo que permita obtener morteros con mejor resistencia, mejor adherencia y cohesión, disminuyendo emisiones contaminantes.

Las osamentas calcinadas al ser de origen calcáreo, tiene propiedades puzolánicas y propiedades hidráulicas, combinadas con el cemento en determinadas proporciones puede incrementar la resistencia mecánica y durabilidad del mortero. (Cánovas, 2007).

En la presente investigación, las osamentas de animales serán calcinadas y pulverizadas para reemplazar un porcentaje de peso del cemento en la mezcla de hormigón, se debe tener en cuenta varios factores como: la temperatura de calcinación y el tiempo de calcinación de las osamentas para obtener los resultados deseados ya que “las cenizas de los huesos se obtienen al quemar restos óseos de distintos orígenes a una temperatura superior a 600°C durante un período mayor o igual a una hora” (Somma, 2004). Con la mencionada información se parte con el primer valor referencial de temperatura de calcinación para experimentar el proceso.

Otro dato muy importante sobre la calcinación de las osamentas se tiene que a una temperatura de 1200°C los componentes orgánicos tienden a eliminarse (Díaz, 2015) y gracias a la eliminación de los componentes orgánicos se puede evitar que con el tiempo exista una posible descomposición del material.

Con la información anterior, las temperaturas de calcinación seleccionadas como límites de procesamiento para el análisis de las osamentas son de 600°C y 1200°C, pero se realizará una experimentación con una tercera temperatura de calcinación, el promedio de las dos anteriores temperaturas de calcinación, que sería de 900°C la misma que podría arrojar otros resultados relevantes para el análisis.

Además, se va a investigar la dosificación óptima de la ceniza de osamenta de animales calcinados como reemplazo de cemento y se va a evaluar entre los porcentajes de 10, 12.5 y 15% en peso de cemento. Tiempo antes Montero, en el año 2017, optó por los porcentajes 10, 15, 20 % con la ceniza de cascarilla de arroz en sustitución del cemento y Jiménez en el 2016, realizó un estudio con los porcentajes 8, 10 y 12 % el cual se sustituyó por materiales puzolánicos (Pedraza, Riveira, & Velásquez, 2017).

En la presente investigación se desarrolla una serie de pruebas las mismas que servirán para evaluar el comportamiento de la ceniza de osamentas de animales calcinadas en sustitución de cierto porcentaje de cemento con la finalidad de establecer la posibilidad de innovar nuevos productos para la industria de la construcción y dar un uso diferente a los desechos de los animales “osamentas” (Guamán & Torres, 2019).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. LA PUZOLANA

La Norma ASTM C 618 menciona que la puzolana es un material natural o artificial que contiene sílice el cual, contiene poco o ningún valor cementante, pero en contacto con humedades reacciona químicamente con hidróxido de calcio a temperaturas comunes, de tal manera, que estos compuestos si poseen propiedades cementantes.

Las puzolanas naturales son aquellas que provienen de rocas volcánicas o suelos que contienen ópalo. “Las puzolanas artificiales son: cenizas volantes, arcillas activadas o calcinadas artificialmente y escorias de fundición” (Coyasamin Maldonado, 2016).

2.2. FAENAMIENTO EN ECUADOR

El faenamiento es el proceso que permite ordenar con normas de sanidad el sacrificio de animales bovinos con la finalidad de obtener productos cárnicos de buena calidad para el consumo humano. En el país hasta el 2020 se han registrado 783 centros de faenamiento municipales de los cuales la gran mayoría están activos, y otros por no cumplir con requisitos establecidos han sido clausurados o cerrados por autorización de gobiernos locales (Empresa Metropolitana de Rastro Quito, 2020).

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca por medio de la agencia de Agrocalidad realiza inspecciones permanentes a los centros de faenamiento para garantizar la inocuidad del proceso, y de tal manera, generar tranquilidad a la ciudadanía de lo que consume. Sin embargo, existen animales faenados en lugares que no son autorizados por la agencia de Agrocalidad (fincas, quebradas o en otros sitios no autorizados), que no cumplen con la inocuidad

requerida por lo que existe la posibilidad de obtener carne contaminada. (AGROCALIDAD, 2020).

La empresa Municipal de Servicios de Rastro en el año 2018, ofertó 11 millones de kilos de carne a la ciudad de Quito y según estadísticas propias de la empresa el 64 % es el aporte total a la ciudad, es decir que el 36 % fue aportado por faenamientos ilegales. El distrito metropolitano de Quito cuenta con cinco camales que tienen un control técnico del producto, son regulados por la agencia de Agrocalidad permitiéndoles obtener un certificado de matadero autorizado (Changoluisa Aimacaña & Oña Guaranda, 2018).

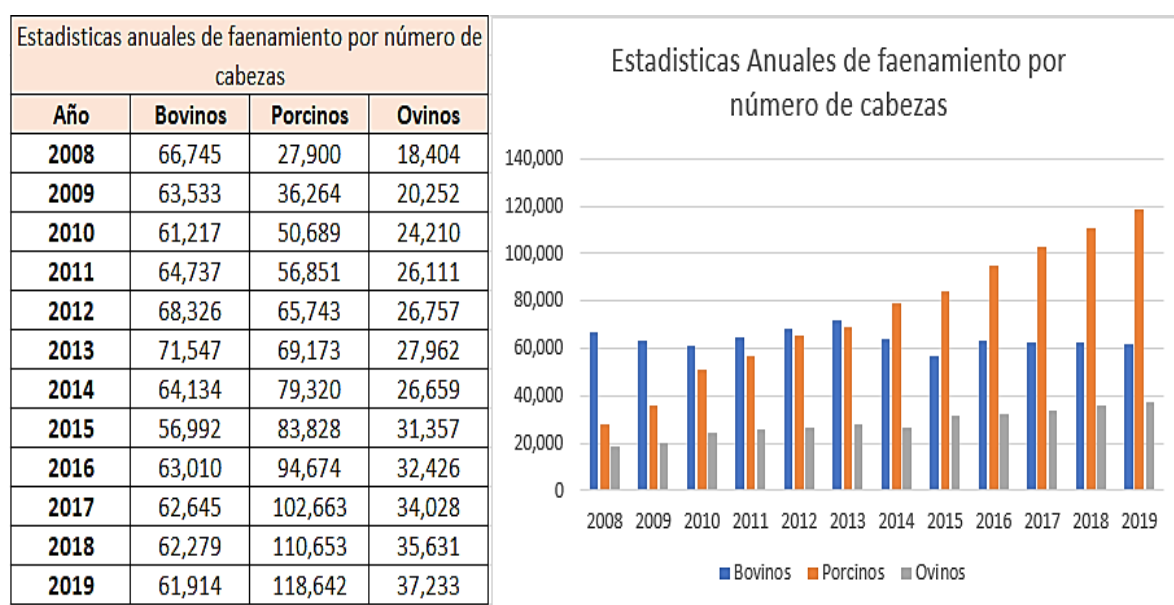


Figura 1. Estadísticas anuales de faenamiento por número de cabezas

Fuente: (Empresa Pública Metropolitana de Rastro Quito, 2020)

2.3. EFECTOS DE CONTAMINACION A CAUSA DE RESIDUOS DE OSAMENTAS DE ANIMALES

El tema ambiental en los camales municipales de Ecuador no se le da la importancia que se merece, esto se debe por falta de conocimiento ante un adecuado manejo de residuos y por falta de recursos económicos, aun se cree que al implementar

tecnologías y/o procedimientos amigables con el medio ambiente genera elevados costos (Pin Quijije, 2016).

El ser humano realiza diferentes actividades que generan gran cantidad de basura, los residuos producidos en centros de faenamiento es un problema debido a, que en la mayoría de ocasiones no tiene un tratamiento adecuado o un espacio amplio para recibirlos; las cantidades de residuos producidos afectan al ecosistema, ya sea cuando el suelo absorbe toxinas contaminantes, la calidad de aire es mala, cuando se descomponen las osamentas de animales generan gases tóxicos, o simplemente cuando todos los residuos o lixiviados son arrastrados por las lluvias provocado que se disperse por todo el ambiente (Changoluisa Aimacaña & Oña Guaranda, 2018).



Figura 2. Botadero de osamentas de animales en el Cantón Saquisilí.

Fuente: (Ecuavisa, 2016)

2.4. RECICLAJE Y USO DE OSAMENTAS DE ANIMALES EN ECUADOR

Según Lazcano Vera, (2011) en el “Ecuador existen sectores pecuarios que ayudan a generar alimentos de animales a partir de los desechos óseos, pero por falta de tratamientos de desechos y la política de control en camales y mataderos, la cantidad de alimentos que se genera se ve limitada”.

Durante la faena de animales no solo se obtiene la carne, sino que queda subproductos que a veces alcanza un 50% del peso total del animal; la utilización de estos subproductos ayuda al medio ambiente y también evita las cadenas de enfermedades que pueden transmitirse por desechos de animales. Según Charris (2011) “el desangrado de los huesos se efectúa con vapor de agua o por medio de disolventes: ciclohexano, bencina, bencol, etc.” Las grasas recuperadas son conocidas como grasa de huesos o aceites y es muy común utilizarlas en máquinas de coser o relojes. Las cenizas de los huesos son utilizadas para generar ciertos tipos de vidrios, porcelanas, fertilizantes y también se puede utilizar como pulimento abrasivo.

El carbón obtenido por la destilación seca o combustión incompleta por la ausencia de aire en las osamentas de animales, aproximadamente el 60% del carbón es utilizado en las industrias azucareras por su gran poder de absorción y que ayuda en el proceso de blanqueamiento del azúcar. Este carbón que proviene del mismo proceso, también se destina para la fabricación de productos farmacéuticos, betún de calzado, grasas, ceras, entre otros. El destilado actúa como alcohol para combatir moscas y tábanos en la agricultura. La proteína coloidal es una gelatina a base de los huesos vacunos hervidos, con la que se puede preparar postres, helados y también se utiliza como clarificante en la preparación de la cerveza, vino y vinagre. (Ramirez Julieth Charris, 2011).

2.5. EL HUESO

2.5.1. ANTECEDENTES

El tejido óseo es el único tejido que combina rigidez y resistencia con un peso mínimo; a pesar de su alta rigidez, adquiere tejidos especiales con elasticidad debido a la composición de células ramificadas en una matriz orgánica calcificada. Al depositar la hidroxapatita en la matriz blanda, el hueso tiende a endurecerse debido a que presenta sustancias duras a base de calcio, fosfato, carbonatos, etc. (Álvaro Mendoza, 1991).

El hueso se compone de sustratos orgánicos e inorgánicos, la matriz orgánica se compone principalmente de colágeno y el sustrato inorgánico se compone principalmente de cristales de hidroxapatita y fosfato de calcio. Las fibras de colágeno que forman el hueso tiene una estructura que es capaz de resistir la tracción en sentido longitudinal y permitiendo de cierta manera lograr la elasticidad del mismo (Caeiro et al., 2013).

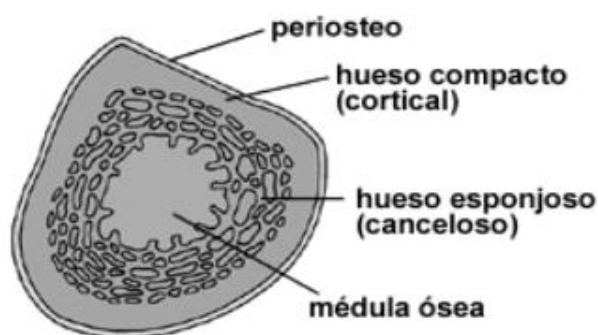


Figura 3. Vista transversal del hueso.

Fuente: (San Antonio et. al., 2004)

El tejido óseo está dividido en dos partes, la primera es el tejido cortical que contiene toda la parte externa y la parte interna compuesto por el tejido esponjoso, estos tejidos se los puede apreciar de la mejor manera realizando un corte transversal al hueso. En lo único que difieren estos tejidos es en la densidad volumétrica ya que químicamente son iguales (San Antonio et al., 2004).

El tejido óseo bovino es parecido al tejido óseo del ser humano, desde los años 50 se han realizado diferentes estudios de injertos médicos debido a que presentan una gran similitud, hasta la actualidad la estructura del hueso bovino es muy utilizada como referente para estudios y aplicaciones (López, Echavarría, Suárez, & Natalia, 2016).

2.5.2. ANATOMÍA DEL HUESO

Los huesos por su forma se clasifican de la siguiente manera: huesos largos, cortos y planos. Para verificar las propiedades mecánicas se debe desarrollar siempre en los huesos largos, debido a la frecuencia de fracturas que existen en la misma. De acuerdo a un estudio éstos poseen una parte central llamada diáfisis, siendo tubular de tejido compacto en la mayoría de casos, rodeando al espacio medular. La parte externa del hueso, se denomina epífisis y generalmente están abultados por sus tejidos esponjosos. “Todos los huesos están rodeados por una capa sencilla o fina de tejido conectivo llamado periostio” (Álvaro Mendoza, 1991).

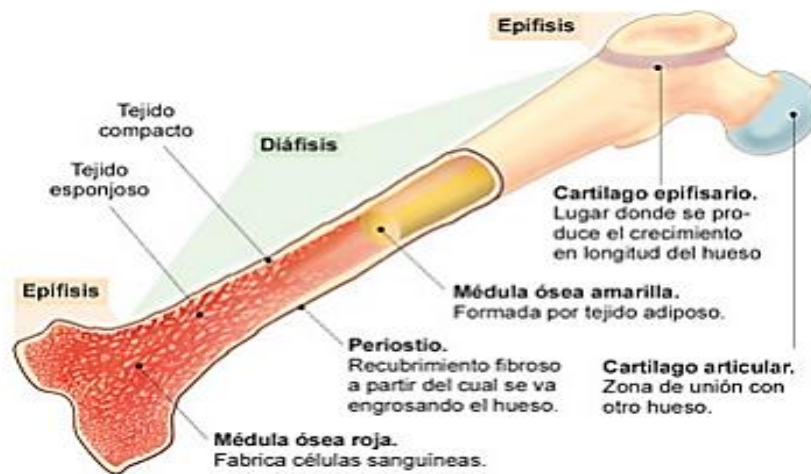


Figura 4. Estructura de los huesos largos.

Fuente: (Sebastián Pastor, 2013)

2.5.3. BIOMECÁNICA DEL HUESO

Las propiedades mecánicas y biomecánicas que se pueden realizar al tejido óseo son las siguientes:

- Ensayos para medir la resistencia a esfuerzos externos
- Ensayos a compresión, tracción, flexión y torsión
- Ensayos de dureza
- Ensayos de análisis cuantitativos por ultrasonido (QUS)

- Ensayos de análisis mediante elementos finitos (FEA)

Según Caeiro et al., (2013) “En estudios posteriores se ha considerado que la parte ósea es responsable del 60% al 80% de la resistencia biomecánica del hueso”.

ETXEBERRIA, (2014) señala que: “Se constata una significativa diferencia en el examen macroscópico entre el hueso fresco y el seco sometidos a altas temperaturas. La combustión del hueso fresco, suministrado de los tejidos orgánicos blandos propios y periféricos, favorece su mayor fragmentación con predominio de líneas transversas al eje de la diáfisis. El colágeno, que persiste durante mucho tiempo en el tejido óseo seco del cadáver ya esqueletizado, también participa en el proceso de combustión, aunque en estos casos la fragmentación del hueso es menor y presenta un predominio de fisuración longitudinal”.

2.5.4. OBTENCIÓN DEL HUESO CORTICAL

Para el presente estudio, el hueso que de preferencia se utiliza es el fémur de bovinos, debido a, que existe mayor disponibilidad en el mercado y por su forma geométrica permite trabajar sin novedades en este proyecto.



Figura 5. Muestras de hueso cortical.

Fuente: (Viladot, 2001)

2.5.5. ELIMINACIÓN Y LIMPIEZA DE LA MATERIA ORGÁNICA

- La separación de la materia orgánica de los huesos se puede dar de la siguiente manera:

- **Hervir:** Una opción es sumergir el hueso dentro del agua hirviendo y mientras la materia orgánica se suaviza, tratar de cepillar lo mejor posible para dejar el hueso limpio.
- **Cal viva:** es la mejor alternativa debido a, que este proceso tiende a blanquear los huesos.
- **Lavandina:** diluir la lavandina en agua y colocar sobre hueso, dejar reposar durante 10 a 20 minutos y raspar con un cepillo hasta limpiar el hueso (Changoluisa Aimacaña & Oña Guaranda, 2018).



Figura 6. *huesos con materia orgánica incluida.*

Fuente: (Changoluisa & Oña, 2017)

2.5.6. CALCINACIÓN Y TRITURACIÓN DEL HUESO

Fernández Castillo, (2011) menciona que: “Durante la cremación del hueso existe la contracción del mismo, por lo tanto, la cremación provoca la reducción en longitud y anchura del hueso.”

(Somma De Feré & Rochinotti, 2006) afirman que la ceniza de hueso se obtiene al incinerar restos de osamentas de distinto origen a una temperatura superior a 600

°C durante el periodo mínimo de una hora, de tal manera que se elimine el componente orgánico.

El proceso de calcinación durante el periodo de una hora a 600 °C, 900°C y 1200°C, da como resultado una ceniza con diferentes tonalidades, la calcinación de osamentas a una temperatura de 600°C refleja un color gris oscuro con granulometría variada; a los 900°C, muestra una tonalidad gris clara con disminución en la granulometría; y a los 1200°C, presenta una tonalidad blanca con granulometría fina. Los tiempos de incineración ya sea de una o dos horas, no influyen en cuanto a la tonalidad y granulometría (Mora, 2019).

A nivel mundial se realiza el proceso de trituración por medio de molinos mecánicos o manuales, donde la materia prima se introduce en la máquina para reducir el tamaño de las partículas. La molienda tiene como fin acortar el volumen de la muestra sólida a partículas de tamaño deseado (Smith & Harriott, 2002).

2.6. TIPOS DE HORNOS INCINERADORES

Los hornos incineradores son dispositivos o equipos industriales capaces de aprovechar la energía calorífica para obtener un proceso térmico, es necesario que la temperatura sea mayor que la temperatura ambiente para llevar a cabo este proceso (Astigarraga Urquiza, 1994).

Existen varias aplicaciones para estos dispositivos como:

- Crematorios o calcinados
- Cocción de artesanías hecho de arcillas
- Cocción de diferentes productos alimenticios
- Fundición de minerales
- Tratamientos térmicos metalúrgicos
- Proceso de revenido o recocido

Los hornos incineradores no son simples, al contrario destacan por complementarse con programas de reducción, reciclaje y degradación biológica de ciertos desechos. Todo el proceso genera abonos orgánicos compuestos (García, 2016).

El horno debe garantizar una temperatura mayor a los 850 grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), así como tomar en cuenta un tiempo adecuado de exposición para evitar que los sólidos se quemen por completo.

Los hornos más comunes son los siguientes:

- Horno de lecho Fluidizado
- Horno de parrilla
- Horno de inyección líquida
- Hornos rotatorios
- Hornos de túnel
- Horno de gas
- Horno de cámaras
- Horno de mufla
- Horno eléctrico (Carantioquia, 2016).

2.7. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

A continuación, se presentan alternativas para la selección del horno, tomando en cuenta el análisis de los parámetros que requiere el proceso del calcinado del hueso, el costo de la ejecución y la factibilidad del uso del horno.

2.7.1. IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES

Se toma en cuenta los siguientes parámetros:

Automatización y control. - Es importante porque se va a realizar un proceso industrializado y es apropiado que se exija un control en las variables de tiempo y temperatura.

Seguridad. – Es apropiado realizar el proceso de calcinación en hornos con aislamientos que garanticen seguridad al operario, debido a que se va a manejar temperaturas muy elevadas.

Eficiencia. – Es importante que la cámara aproveche la mayor energía calorífica para obtener un calcinado uniforme.

Economía. – Evitar que los costos sean altos y que no se generen residuos que deban ser tratados posteriormente.

Ergonomía. - El horno debe tener un mecanismo que le facilite al operario manejar sin riesgo alguno (Jara & Antonio, 2016).

Tabla 1. Valoración porcentual de alternativas.

Alternativas	Necesidades					Valoración total
	Automatización y control	Seguridad	Eficiencia	Economía	Ergonomía	
Horno de parrilla.	5	6	5	8	6	60%
Horno de inyección líquida	7	6	8	5	5	62%
Hornos rotatorios	6	6	8	8	7	70%
Hornos de lecho fluidizado.	5	6	7	8	7	66%
Hornos Hoffman	5	5	8	8	8	68%
Horno de Gas	7	7	7	8	8	74%
Horno de Túnel	6	8	8	5	8	70%
Horno de Mufla	6	6	7	8	7	68%
Horno de Cámaras	8	8	5	7	8	72%
Horno Eléctrico	9	8	9	9	9	88%

Fuente: (M. Loo F. & Mera, 2016)

La ponderación de la Tabla 1 ubica al horno eléctrico como la mejor opción para realizar el proceso de calcinado del hueso.

2.8. HORMIGÓN

El hormigón es un excelente material de construcción; es un material de construcción que consiste en una mezcla de cemento, arena, grava o piedra triturada y agua. Material de gran consistencia, costo bajo comparado con otros materiales y presenta capacidad de adaptarse en cualquier medio.

“El hormigón es una roca diseñada y producida de acuerdo a normas establecidas para fines y aplicaciones que se requieren para un proyecto determinado. Provee características de economía, facilidad en su colocación, velocidad de fraguado y puede ser aplicado de acuerdo a las necesidades de construcción que se tengan” (Almeida & Trujillo, 2017).

2.8.1. CEMENTO

El cemento es un material finamente pulverizado que, con la adición de una cantidad adecuada de agua forma una pasta aglomerante más o menos líquida, capaz de solidificarse bajo el agua y en el aire y combinarse con sustancias adecuadas (Pedraza, Riveira, & Velásquez, 2017).

Desde el año 2013, en el mercado ecuatoriano se consolidaron tres industrias cementeras, siendo éstas: Unión Andina de Cementos S.A. (UNACEM), Holcim Ecuador, y la Unión Cementera Nacional UCEM C.E.M, conformada por Industriales Guapán y Cementos Chimborazo. La multinacional Holcim es líder en este segmento abarcando un 59% de participación en el mercado local, seguida por la empresa UCEM con una participación de 23.6 % en el mercado, y finalmente UNACEM con el 17.4 % de participación en el mercado ecuatoriano. “Las empresas han mantenido un ritmo de crecimiento sostenido, y esto ha generado que Ecuador ocupe el tercer lugar en consumo de cemento en América del Sur”. (Villacis Joceline, 2020).

2.8.1.1. Clasificación de cemento por desempeño

Los tipos de cementos por desempeño están clasificados de acuerdo a las propiedades específicas definidas en la Tabla 2.

Tabla 2. Requisitos físicos normalizados

Tipo de cemento	Norma de ensayo aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Finura	INEN 196	A	A	A	A	A	A
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Tiempo de fraguado, método de Vicat ^B	INEN 158						
Inicial, no menos de, minutos		45	45	45	45	45	45
Inicial, no más de, minutos		420	420	420	420	420	420
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	INEN 195	c	c	c	c	c	c
Resistencia a la compresión, MPa, mínimo ^D	INEN 488						
1 día		–	12	–	–	–	–
3 días		13	24	11	11	5	–
7 días		20	–	18	18	11	11
28 días		28	–	–	25	–	21
Calor de hidratación	INEN 199						
7 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		–	–	–	–	290 (70)	250 (60)
28 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		–	–	–	–	–	290 (70)
Expansión en barra de mortero	INEN 2 529						
14 días, % máximo		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos) ^E	INEN 2 503						
6 meses, % máximo		–	–	0,10	0,05	–	–
1 año, % máximo		–	–	–	0,10	–	–

^A El porcentaje retenido en el tamiz de 45 µm (No. 325) por vía húmeda y el área de la superficie específica determinada en el equipo de permeabilidad al aire en m²/kg, ambos deben ser informados en todos los certificados de resultados requeridos al fabricante.

^B El tiempo de fraguado se refiere al tiempo de fraguado inicial en la NTE INEN 158.

^C Se debe informar el contenido de aire en todos los certificados de resultados de ensayos requeridos al fabricante. El valor obtenido en el mortero no garantiza necesariamente que el contenido de aire en el hormigón sea el mismo.

^D Los cementos pueden ser despachados antes que estén disponibles los datos de ensayo de mayor edad. En tales casos, el valor del ensayo puede dejarse en blanco. Alternativamente, el fabricante puede proveer valores estimativos basados en datos históricos de producción. El informe debe indicar si se proporcionan tales estimaciones.

^E En los ensayos de cemento HS, no se requieren los ensayos a un año cuando el cemento cumple con el límite a 6 meses. Un cemento HS que no cumple con el límite a 6 meses, no debe ser rechazado a menos que tampoco cumpla el límite a un año.

Fuente: (INEN 2380, 2011)

Tomando en cuenta que el cemento Holcim se encuentra con mayor facilidad en el mercado local, se opta por utilizar el cemento por desempeño tipo GU en la presente investigación.



Figura 7. Cemento Hidráulico

Fuente: (Cemento Holcim)

2.8.2. AGREGADOS PÉTREOS

a) Proceso de producción de los agregados

La producción del agregado grueso se divide por etapas, tales como: extracción de la materia prima, despojo, perforación y triturado; traslado y almacenamiento. El control de calidad en las minas se lo realiza cada 15 días para su buen manejo (Almeida & Trujillo, 2017).

b) Métodos y sistemas de explotación

De acuerdo con la información proporcionada, la cantera Holcim ubicado en el sector de Pifo utiliza métodos de minería a cielo abierto y el mineral extraído es andesita volcánica. Para utilizar este procedimiento de minado se debe tomar en cuenta varios factores tales como: la geología del yacimiento, el prototipo del material y las propiedades físicas y mecánicas de la roca. (Almeida & Trujillo, 2017) Los sistemas de minado que se utiliza en la cantera de Holcim son: perforación que “consiste en la apertura de barrenos mediante un compresor y una perforadora neumática; y voladura que consiste en la fracturación del macizo rocoso, además se deben cumplir ciertas normas establecidas por Holcim para garantizar la seguridad de los trabajadores” (Changoluisa & Oña, 2018).

c) Proceso de trituración, trozamiento y cargado.

El proceso de trituración consiste en fraccionar las partículas más grandes en tamaños más pequeños utilizando medios mecánicos o manuales y la carga consiste colocar el producto final en un medio de transporte (Almeida & Trujillo, 2017).

2.8.2.1. Agregado Fino

El agregado fino está relacionado con la arena como el agregado grueso a la roca. Parte del material empleado en el hormigón corresponde al agregado fino o arena, el cual es un “conjunto de partículas estables, naturales o artificiales, y no puede presentar reactividad potencial álcali-sílice y/o álcali-carbonato con el agregado de

cemento y debe estar libre de arcilla y partículas deleznable” (Sánchez de Guzman, 2006).

2.8.2.2. Agregado grueso

Los agregados gruesos tienen propiedades que afectan directamente la resistencia de la mezcla. Dado que los agregados ocupan un gran volumen en el concreto formado, su calidad es muy importante, ya que afectan no solo la fortaleza del concreto, sino también su durabilidad y resistencia a ácidos y sulfatos. El uso del agregado se considera en mucho de los casos como un material inerte y económico, que da volumen al hormigón, pero también es un material de construcción que no es completamente inerte. Sus propiedades térmicas, físicas y a veces incluso químicas pueden afectar el desempeño del concreto (Rivera, 1994).

2.8.3. PORCENTAJE DE AGUA EN EL HORMIGÓN

“El hormigón es un material que se obtiene a partir de la mezcla de los siguientes componentes: ligante como el cemento, agregados como la arena y piedra, agua y opcionalmente aditivos”. La pasta, compuesta por cemento y agua, une los agregados, generalmente arena y grava, para formar una masa parecida a una piedra. En la relación agua/cemento, la importancia del agua es alta, ya que al unirse con el cemento presentan propiedades que benefician o alteran el resultado final, cuando se suele añadir agua, la fluidez de la mezcla aumenta y, por lo tanto, su eficiencia y plasticidad, que beneficia enormemente el trabajo; sin embargo, debido al aumento de espacios creados por el agua, la resistencia también comienza a disminuir. Por lo tanto, se puede argumentar que la resistencia del hormigón depende en gran medida de la relación agua/cemento (Guevara, y otros, 2012).

El curado es muy importante, ya que, si este proceso no se realiza correctamente, pierde hasta un 30% de la resistencia deseada; por lo tanto, lo ideal es tener las probetas en la cámara de curado durante un periodo de 28 días (Guevara, y otros, 2012).

2.9. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

Las principales propiedades del hormigón son las siguientes:

2.9.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a compresión es la propiedad más importante para el control de calidad de una dosificación de hormigón. Para determinar los resultados es necesario ensayar los especímenes aplicando carga de manera creciente hasta alcanzar la ruptura. Los resultados de la resistencia a compresión requerida dependen de varios factores como: humedad de la probeta, tiempo de curado, temperatura, etc. (ASTM C39, 2020).

LA Norma INEN 1573 especifica que los cilindros de concreto se someten a compresión hasta alcanzar la máxima capacidad y se observe que la carga disminuye constantemente, se puede determinar el tipo de falla del cilindro de acuerdo a la Figura 8.

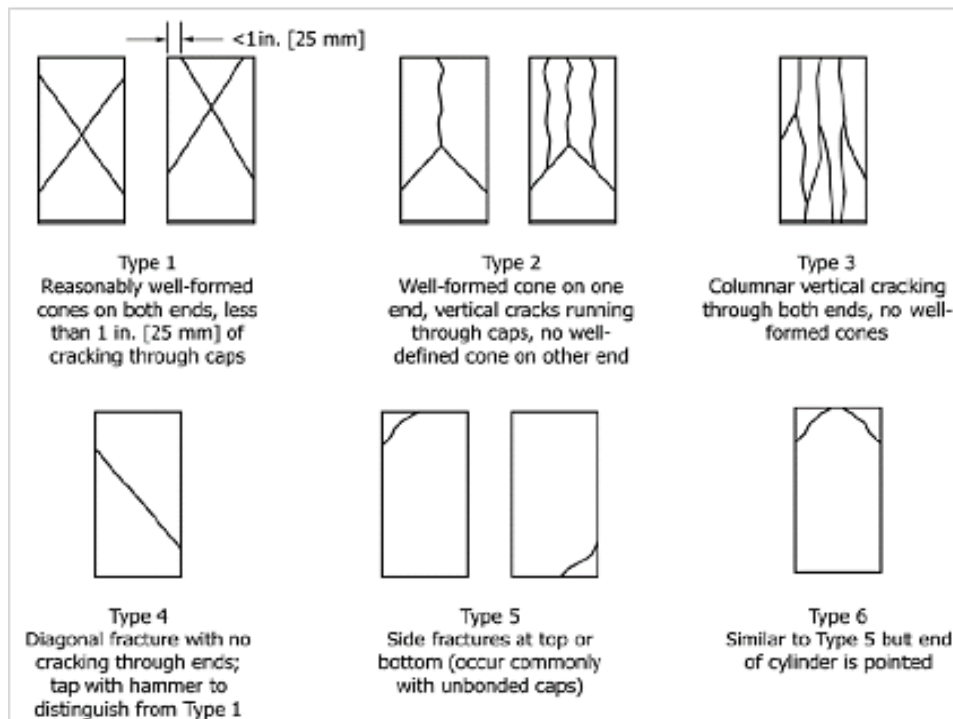


Figura 8. Tipos de fallas en probetas de hormigón

Fuente: (ASTM C39, 2020)

2.9.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad es una de las propiedades importantes en el análisis de un elemento estructural, se refiere específicamente a la deformabilidad del material, es decir, que la deformación no es permanente debido a que, la estructura vuelve a su estado original. Se determina por el límite elástico, que define el límite en el que el material puede tener una deformación reversible, si se supera este límite, las deformaciones se vuelven constantes y las propiedades del material cambian (ASTM C469, 2014).

2.9.3. FACTORES QUE INFLUYEN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

2.9.3.1. El agua

Es la materia prima utilizada para la producción y el curado del concreto, debe cumplir con estándares de calidad, deberá en lo posible ser fresca y limpia, que no contenga residuos tales como: aceites, sales, calcio, material orgánico, Etc. (Coyasamin Maldonado, 2016).

2.9.3.2. Relación agua/cemento

“Es la relación que se establece entre una cantidad determinada de agua y otra de cemento que depende de la resistencia a la compresión que se desee obtener para los diseños, y de la cual también depende la resistencia y durabilidad del hormigón” (Almeida & Trujillo, 2017).

Tabla 3. Influencia de la relación agua/cemento en la resistencia del cemento.

RELACIÓN AGUA CEMENTO (Litros/Kg cemento)	LITROS DE AGUA POR CADA SACO DE 50 Kg DE CEMENTO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBABLE A LA EDAD DE 28 DÍAS (Kg/cm ²)	
		HORMIGÓN SIN INCORPORACIÓN DE AIRE	HORMIGÓN CON INCORPORACIÓN DE AIRE
0.353	17.5	425	325
0.445	22.5	350	280
0.530	26.5	280	210
0.623	31.0	210	180
0.705	35.5	180	140
0.800	40.0	140	110

Fuente: (Luna, 2014)

2.9.3.3. Agua de curado

La calidad del agua para el curado del hormigón deberá ser muy buena, si el agua contiene materia orgánica puede alterar la hidratación del cemento, por lo tanto, el agua más óptimo es el agua potable y el agua recién nacido de montañas (Coyasamin Maldonado, 2016).

2.9.3.4. Edad y curado del hormigón

La resistencia específica del concreto se alcanza a los 28 días, se consigue con el curado del hormigón que consiste en la conservación del contenido de humedad y la temperatura para que el hormigón desarrolle las propiedades requeridas. El curado de hormigón empieza después del desencofrado, este proceso tiene influencia en el endurecido del hormigón, pues generará mayor estabilidad dimensional e impermeabilidad, resistencia y durabilidad (Kismatka et al., 2004).

Los moldes deben ser curados en húmedo a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ desde el tiempo de moldeo hasta el ensayo, en las primeras 48 horas de curado los especímenes deben estar en un ambiente libre de vibraciones. Los especímenes de ensayo deben mantener agua libre sobre toda la superficie en todo momento. (NTE INEN 3124, 2017)

2.9.3.5. Volumen de los agregados

Los agregados gruesos de igual tamaño nominal máximo y granulometría ofrecen mejor trabajabilidad en la elaboración del hormigón, el volumen de agregado por unidad de volumen de concreto, depende del módulo de finura, del agregado fino y del tamaño máximo nominal del agregado grueso como indica la Tabla 4.

Tabla 4. Volumen del agregado grueso por m³ de hormigón

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO GRUESO		VOLUMEN (M ³) DE AGREGADO SECO Y COMPACTADO, POR M ³ DE HORMIGÓN							
		MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO							
cm	in	2.30	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.00
1.00	3/8	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40
1.25	1/2	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49
1.90	3/4	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59
2.54	1	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64
3.81	1 1/2	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70
5.08	2	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73
7.62	3	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78
15.24	6	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84

Fuente: (ACI 211.1, 2002)

Para determinar el volumen del agregado fino se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{\text{fino}} = 1\text{m}^3 - V_{\text{agua}} - V_{\text{cemento}} - V_{\text{grueso}} - V_{\text{aire}} \quad (1)$$

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES QUE CONFORMAN LOS ESPECÍMENES DE HORMIGÓN

Para elaborar mezclas de hormigón, hay que tomar en cuenta que los elementos que conforman dicha mezcla estén dentro de una normativa, debido a que sus propiedades físicas y mecánicas van a influir en la resistencia del hormigón, es por ello, que se debe realizar ensayos de laboratorio para poder corroborar la calidad del material, utilizando la normativa ASTM e INEN.

3.1.1. ENSAYO DE AGREGADOS

3.1.1.1. Granulometría de agregados

El ensayo de granulometría tiene como fin organizar la gama de tamaños de partículas ya sea de los agregados finos y gruesos, el procedimiento se lo lleva a cabo por medio de tamices normalizados que están ordenados de manera decreciente en aberturas y así poder ir reteniendo el material de acuerdo a su tamaño.

➤ Agregado fino

El ensayo se realiza de acuerdo a la norma NTE INEN 696, la cual se basa en la norma ASTM C136.

Preparación de la muestra:

- El primer paso para obtener resultados favorables, es secar el material durante 24 horas, a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Se toma una muestra de 500 g de agregado fino para pasarlo por los tamices
- Se selecciona la serie de tamices convenientes (Ver Tabla 5) y se procede a colocar de manera descendente, se debe tomar en cuenta que la serie de

tamices debe constar de una bandeja y una tapa para evitar pérdida de material.

Tabla 5. Requerimiento de gradación para agregado fino

Tamaño de tamiz	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8 in)	100
4.75 mm (Nº 4)	95 a 100
2.36 mm (Nº 8)	80 a 100
1.18 mm (Nº 16)	50 a 85
600 µm (Nº 30)	25 a 60
300 µm (Nº 50)	5 a 30
150 µm (Nº 100)	0 a 10
75 µm (Nº 200)	0 a 3

Fuente: (ASTM C33, 2018)



Figura 9. Arena fina para tamizar en serie de tamices

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

- Durante un período de 10 min se procede a agitar los tamices para permitir el paso del material.
- Se pesa el material retenido en cada tamiz y verificar que no exista una pérdida mayor al 3% de la muestra original.

- Se puede calcular el porcentaje que pasa y el porcentaje de peso retenido de cada tamiz con las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso retenido de cada tamiz}}{\text{Peso Total}} * 100 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \% \text{ Retenido acum. en un tamiz} \\ = & \% \text{ Retenido acum. tamiz anterior} + \% \text{ Retenido en el tamiz} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\% \text{ Pasa} = 100\% - \% \text{ Retenido Acumulado} \quad (4)$$

- Dibujar la curva granulométrica y con la siguiente ecuación se puede calcular el módulo de finura del material.

$$M_{finura} = \frac{\Sigma \% \text{ Retenido acum del tamiz}(1/2", 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100} \quad (5)$$

➤ Agregado grueso

Preparación de la muestra:

- Secar el agregado grueso durante 24 horas a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, para obtener resultados favorables
- El tamaño de la muestra de ensayo se selecciona de acuerdo al tamaño nominal máximo del agregado, utilizar la siguiente: Tabla 6

Tabla 6. Tamaño de muestra para granulometría de agregado grueso.

Tamaño Nominal Máximo mm (in)	Peso mínimo de la muestra (Kg)
9.5 (3/8)	1
12.5 (1/2)	2
19.0 (3/4)	5
25.0 (1)	10
37.5 (1 1/2)	15
50 (2)	20
63 (2 1/2)	35
75 (3)	60
90 (3 1/2)	100
100 (4)	150
125 (5)	300

Fuente: (ASTM C36, 2019)

- Una vez el material ya seco, se toma 1000 g de material grueso para pasarlos por los tamices.



Figura 10. Agregado grueso seco

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

- Los tamices a colocar son los siguientes (1", 1/2", No 4, No 8, Bandeja), hay que ubicarlos de manera descendente, colocar el agregado y agitar en la tamizadora durante un periodo de 10 minutos.



Figura 11. Serie de tamices para agregado grueso

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

- Utilizando las mismas fórmulas del agregado fino se puede obtener el porcentaje que pasa y porcentaje de peso retenido en cada tamiz.
- Dibujar la curva granulométrica del agregado grueso y calcular el módulo de finura.

Los resultados de granulometría fina y gruesa se registran en los **Anexos 1 y 2**.

3.1.1.2. Densidad Aparente de agregados

Para los ensayos de densidad aparente de los agregados finos y gruesos se realizan de acuerdo a la norma ASTM C29.

Utilizar un recipiente con volumen conocido cuya capacidad esté en función del tamaño máximo nominal del material. A continuación, se muestra la Tabla 7.

Tabla 7. Capacidad del molde de acuerdo al tamaño del agregado

Tamaño máximo nominal del agregado mm (in)	Capacidad nominal del molde m ³ (L)
12.5 (1/2)	0.0028 (2.8)
25.0 (1)	0.0093 (9.3)
37.5 (1 1/2)	0.014 (14)
75 (3)	0.028 (28)
100 (4)	0.070 (70)
125 (5)	0.100 (100)

Fuente: (ASTM C29, 2017)

➤ **Agregado fino**

Densidad aparente compactada

- Secar el agregado fino durante 24 horas a una temperatura de 110°C ± 5°C.



Figura 12. Agregado fino seco durante 24 horas

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

- Una vez secado el agregado, se procede a llenar el primer tercio del molde, empleando una varilla adecuada de 1.6 cm de diámetro y 60 cm de largo, compactarla 25 veces, llenar la segunda capa y hacer el mismo procedimiento hasta colocar la última capa de agregado, hay que tomar en cuenta que la varilla solo debe penetrar la capa agregada.



Figura 13. *Llenado de capas con arena fina*

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

- Finalmente enrazar la capa última y tomar el peso del conjunto: molde más agregado compactado.

Densidad aparente suelta

- El procedimiento a realizar es sumamente sencillo, se debe colocar el agregado en el molde desde una altura máxima de 5 cm para evitar que el material se vaya compactando.
- Enrazar la parte final del molde y se procede a pesar el conjunto.

Una vez tomado todos los datos se puede calcular las densidades aparentes, ya sea suelta o compactada con la siguiente formula:

$$D = \frac{W2 - W1}{V} \quad (6)$$

Donde:

D= Densidad Aparente suelta o compactada [g/cm³]

W1= Peso del recipiente [g]

W2= Peso del recipiente + agregado suelta o compactada [g]

V= Volumen del recipiente [cm³]

➤ **Agregado grueso**

El procedimiento para el agregado grueso es el mismo que el de agregado fino, solo hay que tomar en cuenta el tamaño del recipiente.



Figura 14. Densidad aparente del agregado grueso

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

Los resultados de densidad aparente del agregado fino y grueso se registran en el **Anexo 3**.

3.1.1.3. Peso específico y absorción de los agregados

Los ensayos de peso específico o gravedad específica de los agregados gruesos y finos se basan en la norma ASTM C128.

➤ **Agregado fino**

Preparación de la muestra

- Se selecciona la muestra a ensayar, se debe eliminar el material pasante por el tamiz N° 200, por lo que se debe lavar el agregado hasta conseguir que el agua salga cristalina sin ninguna impureza.
- Dejar el agregado fino completamente sumergido en agua durante un periodo de 24 horas, para saturarlo.

Determinación de la condición SSS (Superficie saturada seca)

- Una vez ya pasado las 24 horas sumergida la muestra, se elimina el exceso de agua del recipiente.

- En un recipiente no absorbente extender la muestra, de tal manera que consiga secarse uniformemente, el secado se puede conseguir a temperatura ambiente o a su vez en un horno con un tiempo determinado.
- Para determinar que las condiciones del agregado son las requeridas, colocar el molde tronco cónico en una superficie no absorbente, llenar completamente el molde con el agregado y compactar muy ligeramente unas 25 veces con el compactador, una vez lleno el molde enrazar dejando una superficie lisa.



Figura 15. Determinación de arena fina en condiciones SSS

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

- Levantar el cono verticalmente, si se observa que la muestra se desmorona levemente se puede deducir que el agregado a alcanzado la condición SSS.

Procedimiento gravimétrico

- Se procede a llenar de agua el picnómetro hasta su punto mínimo y anotar su peso
- Del agregado fino en condiciones SSS, se toma una muestra de 300 g y se introduce en el picnómetro, si es necesario se adiciona agua hasta un 90 % de su capacidad total.
- Conectar el picnómetro a la bomba de vacíos para eliminar todo el aire atrapado que contiene la muestra, el proceso se debe realizar en un periodo de 10 minutos.
- Una vez eliminado todo el aire de la muestra, llenar de agua hasta su aforo límite y tomar su peso.



Figura 16. Llenado de agua hasta el limite

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

- Colocar el material en un recipiente previamente pesado y secar en un horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas, para luego obtener el peso seco del material.

Para obtener el peso específico y el porcentaje de absorción se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$\text{Densidad Relativa o Gravedad Especifica}(SH) = \frac{A}{B + S - C} \quad (7)$$

$$\text{Densidad Relativa o Gravedad Especifica}(SSS) = \frac{S}{B + S - C} \quad (8)$$

$$\text{Gravedad Especifica Aparente} = \frac{A}{B + A - C} \quad (9)$$

$$\text{Absorción}(\%) = \frac{S - A}{A} * 100 \quad (10)$$

Donde:

$A =$ Peso de la muestra seca [g]

$B =$ Peso del picnómetro + agua [g]

$C =$ Peso del picnómetro + agua + agregado [g]

$S =$ Peso de la muestra en condiciones SSS [g]

➤ **Agregado grueso**

Preparación de la muestra:

- El agregado grueso debe estar libre de impurezas, por lo que, es necesario lavar la muestra en un recipiente, hasta que el agua este completamente cristalina.
- Dejar la muestra completamente sumergida en el agua durante un período de 24 horas para que se logre la condición saturada del material.

Determinación de la condición SSS

- Una vez transcurridas las 24 horas, eliminar el exceso de agua con una franela absorbente hasta ver que las aristas del agregado no presenten brillo, es decir que su superficie sea mate.
- Tomar una cierta cantidad del material SSS, tomando en cuenta el tamaño máximo nominal, como describe la siguiente Tabla 8.

Tabla 8. Cantidad de agregado grueso mínimo en condición SSS.

Tamaño máximo nominal del agregado mm (in)	Masa mínima de la muestra de prueba (Kg)
12.5 (1/2) o menor	2
19.0 (3/4)	3
25.0 (1)	4
37.5 (1 1/2)	5
50 (2)	8
63 (2 1/2)	12
75 (3)	18
90 (3 1/2)	25
100 (4)	40
125 (5)	75

Fuente: (ASTM C127, 2015)

- Tomar el peso de la canastilla adecuada para el agregado grueso

- Colocar el agregado grueso en condiciones SSS y tomar su peso con la muestra sumergida.
- Finalmente colocar la muestra en una bandeja y dejar secar en un horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas y registrar su peso una vez ya transcurrido ese tiempo.

Para obtener el peso específico y el porcentaje de absorción se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$\text{Gravedad Especifica}(SH) = \frac{A}{B - C} \quad (11)$$

$$\text{Gravedad Especifica}(SSS) = \frac{B}{B - C} \quad (12)$$

$$\text{Gravedad Especifica Aparente} = \frac{A}{A - C} \quad (13)$$

$$\text{Absorción}(\%) = \frac{B - A}{A} * 100 \quad (14)$$

Donde:

$A =$ *Peso de la muestra seca [g]*

$B =$ *Peso de la muestra en condiciones Saturada Superficie Seca [g]*

$C =$ *Peso de la muestra sumergida completamente en agua [g]*

Los resultados de peso específico y absorción del agregado fino y grueso se registran en el **Anexo 4**.

3.1.1.4. Contenido Orgánico de la arena

El material orgánico en el agregado puede generar inestabilidad en la resistencia del concreto, por lo que, es necesario hacer un análisis sobre este aspecto, sobre todo en el agregado fino basándose en la norma ASTM C40.

Preparación del ensayo:

- Se prepara una solución al 3% de hidróxido de sodio (NaOH), esto quiere decir por cada 97 partes de agua hay que disolver 3 partes de NaOH.
- En un envase adecuado insertar la muestra fina hasta los 130 ml
- Añadir la solución de hidróxido de sodio hasta los 200 ml del envase y dejar reposar durante 24 horas.
- Con la placa de Gardner (ver Tabla 9), se compara el color obtenido del ensayo.

Tabla 9. Comparador Escala de Gardner

Color normalizado Escala de Gardner No.	Número de orden en el comparador	Observación
5	1	Permitido
8	2	Permitido
11	3	Normalizado de referencia
14	4	No permitido
16	5	No permitido

Fuente: (ASTM C40, 2020)

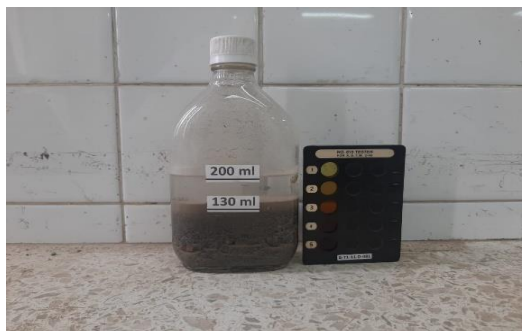


Figura 17. Comparador de color de contenido orgánico

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

Los resultados del contenido orgánico del agregado fino se registran en el **Anexo 5**.

3.1.1.5. Abrasión de agregado grueso

El ensayo de Abrasión se lo realiza únicamente al agregado grueso para ver el porcentaje de desgaste superficial del material, este proceso se lo lleva a cabo,

mediante el rozamiento e impacto de unas esferas de acero que se introducen en una máquina de rotación denominada, Maquina de Los Ángeles. El ensayo de basa en la norma ASTM C131.

Preparación del ensayo:

- En base a la granulometría obtenida previamente, se elige la gradación del agregado como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10. Gradación de agregados para ensayo de abrasión

Tamices		Masa (g)			
Pasante mm (in)	Retenido mm (in)	Gradación			
		A	B	C	D
37.5 (1 1/2)	25.0 (1)	1250 ± 25	-	-	-
25.0 (1)	19.0 (3/4)	1250 ± 25	-	-	-
19.0 (3/4)	12.5 (1/2)	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
12.5 (1/2)	9.5 (3/8)	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
9.5 (3/8)	6.3 (1/4)	-	-	2500 ± 10	-
6.3 (1/4)	4.75 (Nº 4)	-	-	2500 ± 10	-
4.75 (Nº 4)	2.36 (Nº 8)	-	-	-	5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: (ASTM C131, 2020)

- La gradación del agregado para este proyecto es el tipo A, por lo tanto, para colocar la carga abrasiva se lo realiza con la siguiente tabla:

Tabla 11. Carga abrasiva para agregados gruesos

Gradación	Número de esferas	Masa de carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4580 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: (ASTM C131, 2020)

- De acuerdo a la Tabla 10 el número de esferas que se debe colocar en la máquina de Los Ángeles es de 12, la maquina tiene que girar en una velocidad máxima de 33 rpm.



Figura 18. Esferas de acero

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

- Colocar la muestra en la máquina de Los Ángeles y girar las primeras 100 revoluciones, una vez que se realiza ese proceso, se retira la muestra y se hace pasar por el tamiz N° 12 y se pesa el contenido retenido.
- Se ingresa nuevamente la misma muestra para completar las 400 revoluciones restantes y completar con las 500 revoluciones como indica la norma y se realiza el mismo proceso de pesar el contenido retenido por el tamiz N°12.

Para obtener el porcentaje de abrasión y el coeficiente de uniformidad se lo realiza con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Abrasión}(\%) = \frac{A - B}{A} * 100 \quad (15)$$

$$\text{Coeficiente de uniformidad} = \frac{\text{Porcentaje de pérdida 100 rev} (\%)}{\text{Porcentaje de pérdida 500 rev} (\%)} \quad (16)$$

Donde:

$A =$ Peso inicial de la muestra [g]

$B =$ Peso retenido de la muestra en la malla N°12 [g]

Los resultados de la abrasión del agregado grueso se registran en el **Anexo 6**.

3.1.1.6. Densidad del cemento

Para el proyecto de investigación, se ha utilizado el cemento Holcim, el cual cumple con las especificaciones de la norma ecuatoriana INEN 2380 – Cementos hidráulicos por desempeño.

Tabla 12. Densidad del cemento Holcim tipo GU

DENSIDAD DEL CEMENTO	
Masa [g]	60
Volumen inicial [cm ³]	0
Volumen final [cm ³]	20.5
V-Vf-Vi	20.5
Densidad [g/cm ³]	2.93

Fuente: (Omar Hidalgo, 2018)

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

3.2. ENSAYOS DE CENIZA DE OSAMENTAS DE ANIMALES

3.2.1. DENSIDAD APARENTE DE LA CENIZA DE OSAMENTAS DE ANIMALES

Para realizar los ensayos de densidad de la ceniza de osamentas de animales, hay que basarse en la norma ASTM C188, la cual indica la metodología.

Densidad suelta de ceniza de osamentas de animales

- Para el ensayo se necesita un molde más pequeño el cual se toma sus dimensiones y su peso.

- Llenar el molde con la ceniza tratando de que la caída no sea más de 5 cm para evitar que se compacte con su propio peso, una vez lleno el recipiente se enraza y se registra el peso.
- El proceso se lo realiza dos veces para tener mejores resultados.
- Una vez tomado todos los datos se determina la densidad aparente suelta.

Densidad compactada de ceniza de osamentas de animales

- Tomar el peso del molde y sus dimensiones al igual que en densidad seca
- Llenar 1/3 de la altura del molde con la ceniza de osamentas de animales, levantar el molde máximo 1 cm de altura y dejarlo caer verticalmente 25 veces, logrando que la muestra se vaya compactando, así sucesivamente hasta que el molde se llene.
- Registrar el peso del molde con la muestra compactada.

Para calcular la densidad suelta y compactada de la ceniza se utiliza la siguiente formula:

$$D_{Ceniza} = \frac{W2 - W1}{V} \quad (17)$$

Donde:

D_{ceniza} = Densidad aparente de la ceniza [g/cm³]

$W1$ = Peso del molde [g]

$W2$ = Peso del molde + ceniza [g]

V = Volumen del molde [cm³]

3.2.2. DENSIDAD REAL DE LA CENIZA DE OSAMENTAS DE ANIMALES

- Pesarse una muestra de ceniza de osamenta de animales, aproximadamente 64 g.
- Para el siguiente ensayo se requiere del frasco de Le Chatelier, en donde, con la ayuda de un embudo verter gasolina o keroseno libre de agua, llenar hasta la marca mínima del frasco y registrar su volumen y peso.

- Ingresar la muestra de ceniza de osamenta de animales hasta que la gasolina vaya subiendo y llegue al nivel entre 18 a 24 ml.
- Tapar y hacer rotar el frasco hasta extraer el aire que contiene la ceniza.
- Colocar el frasco dentro de agua que este a una temperatura de 23 ± 2 para lograr que la temperatura del frasco se equilibre con el agua.
- Una vez ya con la temperatura adecuada se registra los segundos datos, el volumen y el peso.

La densidad real se puede obtener con la siguiente ecuación:

$$D_{Real} = \frac{P2 - P1}{L2 - L1} \quad (18)$$

Donde:

$P1$ y $P2$ = peso del frasco + muestra [g]

$L2$ y $L1$ = Volumen del frasco + muestra [g]

Los resultados de la densidad de la ceniza de hueso calcinado se registran en el **Anexo 7**.

3.3. OBTENCIÓN DE OSAMENTAS DE ANIMALES

Con la finalidad de evitar la contaminación ambiental que se producen en los camales, se optado por reciclar el hueso de animales bovinos, con el fin de implementar esta materia prima en la elaboración del hormigón.

La cantidad de hueso que se requiere para esta investigación es de 50 kg, por el número de probetas a realizarse, se ha ido recolectando en varios locales dedicados al comercio de carnes, especialmente del camal Metropolitano de Quito, posteriormente se realiza la limpieza del hueso, para eliminar parte de la materia orgánica que contiene el hueso y evitar su descomposición.



Figura 19. Osamentas de animales bovinos

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

3.4. CALCINACIÓN DE OSAMENTAS DE ANIMALES

Para el proceso de calcinación de los huesos, primero se necesita calentar el horno eléctrico hasta una temperatura específica de: 600, 900 y 1200 °C respectivamente, una vez que se logra dicha temperatura se procede a ingresar una cierta cantidad de huesos por el periodo de una hora.



Figura 20. Horno Eléctrico

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

De acuerdo a la temperatura de exposición para cada muestra, se va generando cambios físicos en los huesos, debido a que existe pérdida de materia orgánica a la

exposición de altas temperaturas, se muestra a continuación la Tabla 13 con observaciones del hueso calcinado sometido a las temperaturas de 600, 900 y 1200 °C por una hora.

Tabla 13. Observaciones de los huesos calcinados

ensayos			
Muestra	Temperatura [°C]	Tiempo [h]	Observaciones
1	600	1	Totalmente quemado (negro), consistente, un mínimo de fracturas
2	900	1	Parcialmente gris oscuro, semiduro, se nota mayor porcentaje de fracturas
3	1200	1	Parcialmente blanco con unos toques oscuros, frágil y con fracturas ya considerables

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)



Figura 21. Fases de coloración del hueso calcinado a diferentes temperaturas

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

3.5. TRITURACION Y PULVERIZADO DE LOS HUESOS CALCINADOS

Para el proceso de trituración y pulverizado, se utiliza herramientas manuales o a su vez, molinos eléctricos avanzados. Los huesos calcinados se tuvieron que someter a una serie de golpes con la ayuda de martillos (combos), para conseguir una textura más granulada, la fracción fina es la que se requiere para la dosificación del hormigón, por lo tanto, es necesario pasar la muestra por un molino manual o eléctrico para conseguir una muestra fina.



Figura 22. Trituración de hueso calcinado

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

Se tamiza la muestra para separar las partículas que pasan por el tamiz N°200 con la finalidad de obtener una cantidad mínima de 1 kg para cada tipo de calcinación.



Figura 23. Tamizado de ceniza de hueso calcinado

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

3.6. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

Para lograr que la dosificación alcance la resistencia requerida es necesario seguir la metodología descrita en la norma ACI 211.1, en donde se puede generar cantidades exactas de los agregados gruesos, finos, agua, cemento y la ceniza de hueso calcinado.

Una vez ya hecha la caracterización de los materiales se define la dosificación de la mezcla para un hormigón de 24 MPa. En la siguiente tabla se muestra las cantidades iniciales tomando en cuenta que el agregado esté completamente seco.

Tabla 14. Cantidad de material en condiciones secas

Dosificación en peso [kg]	
Mina:	Pifo
Resistencia (f'c):	24 MPa
Tamaño máximo nominal:	1"
Contenido de aire:	Ninguno
Agua:	232.8
Relación a/c:	0.60
Cemento:	386
Ripio:	949.41
Arena:	748.28

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

Diseño de hormigón de 24 MPa ver en **Anexo 8**

Para tener la cantidad de material en una mejor perspectiva se opta en transformar en cantidades relativas, lo que quiere decir que para 1 kg de cemento se requiere cierta cantidad de agregado como se muestra a continuación.

Tabla 15. *Dosificación en peso relativo*

Dosificación en peso relativa			
a/c	Cemento	Arena	Ripio
0.60	1	1.94	2.46

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

Tabla 16. *Dosificación al volumen*

Dosificación para 1 saco de cemento			
	[kg]	V	
Agua:	30.1	30.1	
Cemento:	50	50	
Arena:	96.8	56.6	
Ripio:	123	90.2	
Dosificación al volumen			
a/c	Cemento	Arena	Ripio
0.60	1	1.13	1.8

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

Con el material ya establecido para la dosificación del hormigón se puede determinar la cantidad de ceniza de osamentas de animales calcinadas, la cual se basa en el reemplazo parcial del 10, 12.5 y 15 % del cemento.

A continuación, se detalla la cantidad de probetas que se realiza, tomando en cuenta la temperatura de calcinación de las osamentas y el porcentaje de reemplazo del cemento.

Tabla 17. Clave de código

C	#	##	##
Cilindro	Ordinal	% de reemplazo	Temperatura de calcinación

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

Tabla 18. Códigos y peso de ceniza para 1 m³ de hormigón

Resistencia	24	MPa	
Cemento/m³	386	kg	
Ceniza/m³ de hormigón			
Código	Temperatura de calcinación [°C]	% de reemplazo	Peso a usar [kg]
CE1	Estándar	0.00%	0
CE2			
CE3			
C1106	600	10.00%	38.6
C2106			
C3106			
C1126	600	12.50%	48.25
C2126			
C3126			
C1156	600	15.00%	57.9
C2156			
C3156			
C1109	900	10.00%	38.6
C2109			
C3109			
C1129	900	12.50%	48.25
C2129			
C3129			
C1159	900	15.00%	57.9

C2159			
C3159			
C11012	1200	10.00%	38.6
C21012			
C31012			
C11212	1200	12.50%	48.25
C21212			
C31212			
C11512	1200	15.00%	57.9
C21512			
C31512			

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

3.6.1. DOSIFICACIÓN PARA PROBETAS CON CENIZA DE HUESO

CALCINADO

Tomando en cuenta la cantidad de cemento que entra en un m³ de hormigón, se realiza el análisis para tener las cantidades reales que necesita un promedio de cuatro probetas, debido a que existirá desperdicio del material.

A continuación, se muestra una tabla con los valores reales que se necesita en la dosificación de las probetas.

Tabla 19. Material para cada temperatura de calcinación y porcentaje de reemplazo

Cemento patrón para 4 probetas	2.43	kg	Resistencia =	24	MPa
% de reemplazo ceniza de hueso calcinado	Peso de reemplazo para 4 cilindros 10*20 cm [kg]	Agua [kg]	Cemento [kg]	Ripio [kg]	Arena [kg]
10%	0.243	1.64	2.187	5.97	4.68
12.50%	0.304	1.64	2.126	5.97	4.68
15%	0.365	1.64	2.066	5.97	4.68

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

3.7. ELABORACIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

Para la fundición de los cilindros se tuvo que dividir en grupos para que se realice en 3 días, el encofrado de las probetas son moldes cilíndricos estándar de metal u otro material no absorbente y no reactivos con el cemento, los moldes deben estar previamente limpios y puesto grasa o aceite para facilitar el desencofrado.



Figura 24. Cilindros de metal

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

El hormigón se mezcló de forma manual, la Norma (NTE INEN 3124, 2017) menciona que generalmente deben moldearse tres probetas para cada edad de ensayo y que son suficientes para la presente investigación, mejorando el tiempo de ejecución, consiguiendo hacer entre 9 a 12 probetas diarios.



Figura 25. Mezcla de hormigón

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

El proceso de moldeo de las probetas se realiza mediante dos capas de hormigón, se llena hasta la mitad del molde y proporcionar 25 taconeadas con la varilla de 6 mm de espesor, una vez ya taconeado se procede a golpear ligeramente con un mazo de caucho alrededor del molde por 15 veces para lograr que se asiente y no se generen vacíos, se realiza el mismo proceso para la última capa y se enraza.



Figura 26. Moldeo de Cilindros

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

Una vez que ya se realice las probetas, se los conserva por un período de 24 horas en un lugar fresco y horizontal para que fragüe y logre una consistencia adecuada para su desencofrado, se identifica a las probetas y se lleva al cuarto de curado hasta que logre su edad de ensayo, que es a los 28 días.



Figura 27. Curado de probetas

Fuente: (Huertas & Miniguano, 2021)

3.8. ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS

Preparación del ensayo de acuerdo a la norma ASTM C39

- Las probetas de hormigón deben cumplir con el periodo de curado de 28 días.
- Sacar las probetas del agua y secar toda la superficie, posteriormente tomar tres medidas de altura, dos de diámetro comprobando que las medidas no tengan una diferencia mayor al 2 %.
- Registrar el peso de las probetas.
- Verificar que las caras superiores e inferiores de las probetas estén completamente lisas y paralelas, si no es el caso es necesario un refrentado para que la máquina de compresión logre distribuir la carga uniformemente, para este ensayo se utilizó neopreno.
- La velocidad a la que se debe someter la compresión es de 0.25 MPa/s. por lo tanto, la máquina debe estar previamente programada.
- La probeta debe ser colocado de manera vertical en la máquina, verificando que las caras se acoplen de manera uniforme.
- Se procede a ensayar hasta su ruptura, registrando la carga máxima y el tipo de falla que se generó.
- Con todos los datos registrados, se puede calcular la resistencia a compresión de cada probeta ensayada con la siguiente ecuación.

$$f'c = \frac{4000 * Pmax}{\pi * D^2} \quad (19)$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia a la compresión [MPa]

$Pmax$ = Carga máxima soportada por las probetas [kN]

D = Diámetro de la probeta [mm].

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

A partir de los ensayos realizados, se presenta un análisis de los resultados obtenidos de la compresión de probetas, para la determinación del efecto que existe entre el porcentaje de ceniza de hueso calcinado como parte parcial del cemento en la dosificación del hormigón y la resistencia a compresión de un hormigón estándar.

Para cada ensayo con diferentes temperaturas de calcinado y porcentaje de ceniza se realizó un análisis comparativo, para demostrar la diferencia que se genera al reemplazar parcialmente la ceniza de hueso calcinado por el cemento en la resistencia del hormigón.

4.2. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para obtener resultados apropiados de la resistencia a compresión, se realizó tres probetas para cada porcentaje de reemplazo a diferente temperatura de calcinación, para tener un panorama de los resultados se promedia las tres resistencias dadas por los ensayos a los 28 días de edad.

Se puede determinar que, al aumentar el porcentaje de ceniza de hueso calcinado, la resistencia estándar tiende a disminuir véase en la Tabla 20 y en la Figura 28.

Tabla 20. Resistencia a compresión de cilindros con ceniza calcinada a 600 °C

Resistencia a Compresión		
Resistencia de diseño	24	MPa
Temperatura	600	°C
Edad	28	días
Reemplazo Ceniza [%]	Resistencia [MPa]	Reducción [%]
0	24.35	0.00
10	21.97	9.80
12.5	17.58	27.90
15	18.12	25.58

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

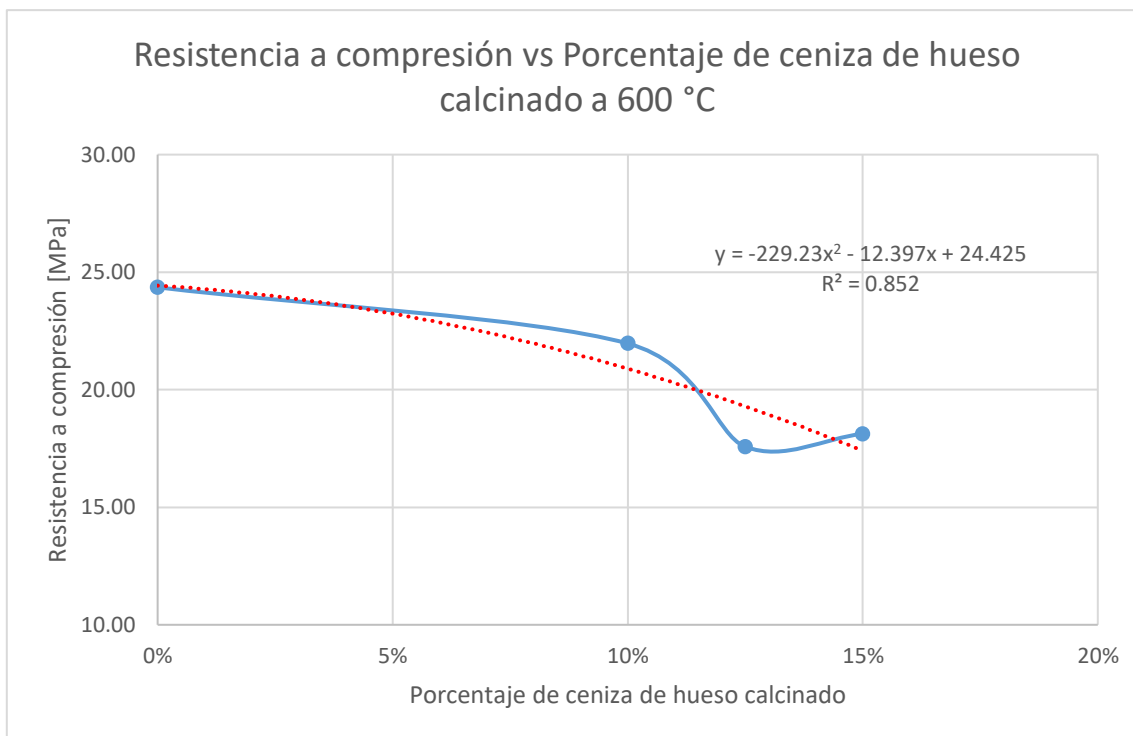


Figura 28. Variación de f'_c en función al % de ceniza calcinada a 600 °C

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

Tabla 21. Resistencia a compresión de cilindros con ceniza calcinada a 900 °C

Resistencia a Compresión		
Resistencia de diseño	24	MPa
Temperatura	900	°C
Edad	28	días
Reemplazo Ceniza [%]	Resistencia [MPa]	Reducción [%]
0	24.35	0.00
10	20.61	15.36
12.5	18.53	23.92
15	17.53	28.04

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

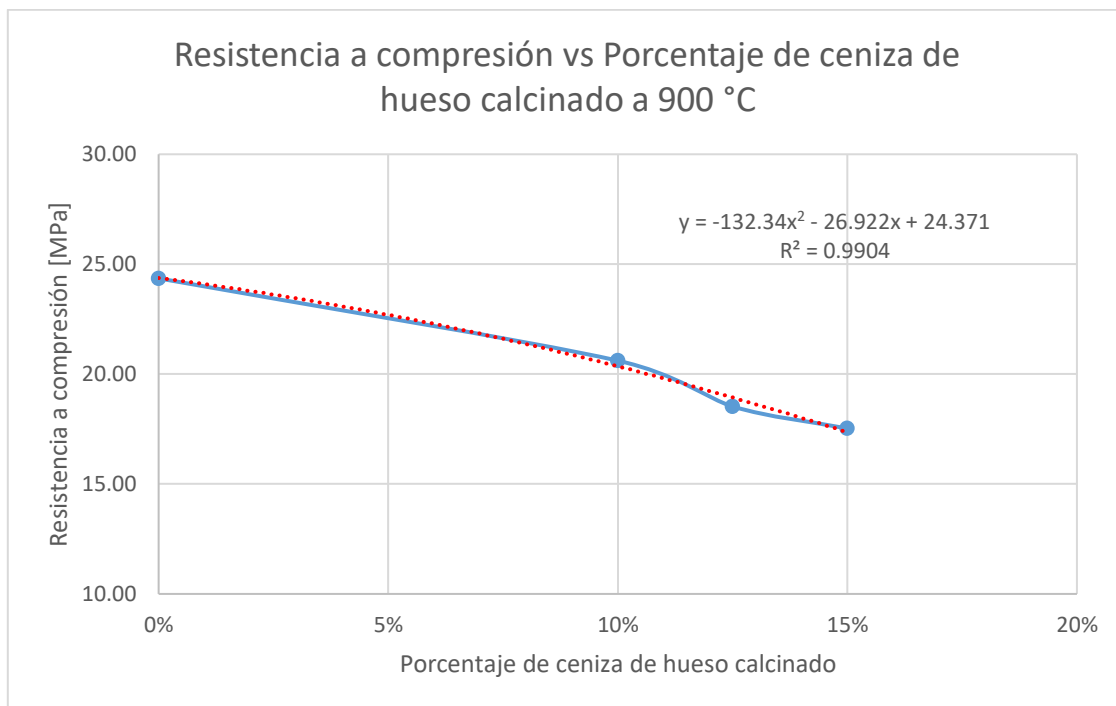


Figura 29. Variación de $f'c$ en función al % de ceniza calcinada a 900 °C

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

Tabla 22. Resistencia a compresión de cilindro con ceniza calcinada a 1200 °C

Resistencia a Compresión		
Resistencia de diseño	24	MPa
Temperatura	1200	°C
Edad	28	días
Reemplazo Ceniza [%]	Resistencia [MPa]	Reducción [%]
0	24.35	0.00
10	17.27	29.09
12.5	16.19	33.54
15	14.46	40.62

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

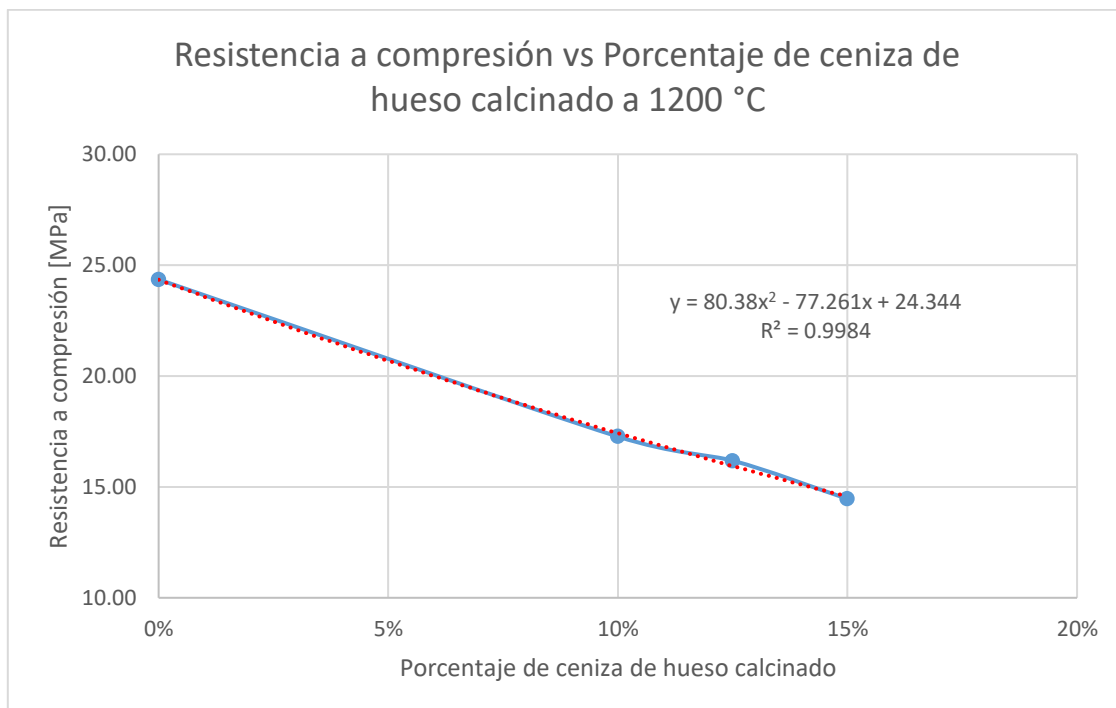


Figura 30. Variación de $f'c$ en función al % de ceniza calcinada a 1200 °C

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

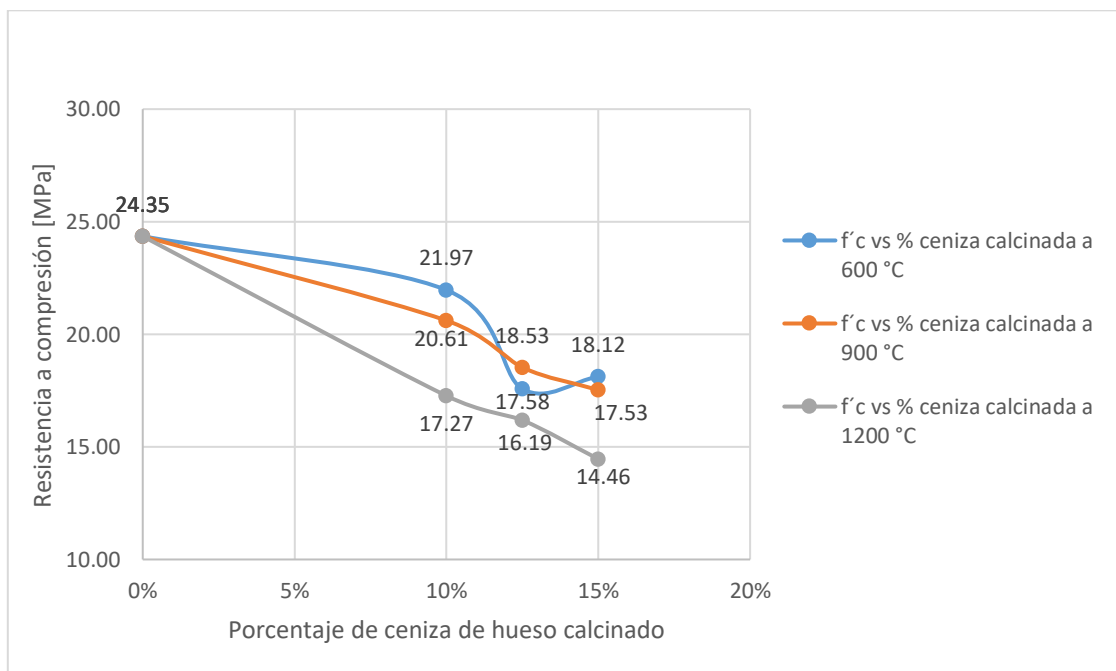


Figura 31. Variación de $f'c$ en función al % de ceniza calcinada

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

4.2.1. DISMINUCIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS

Según los ensayos realizados, se puede analizar que los porcentajes de reducción de resistencia son realmente significantes como se puede observar en la curva de disminución de la figura 31.

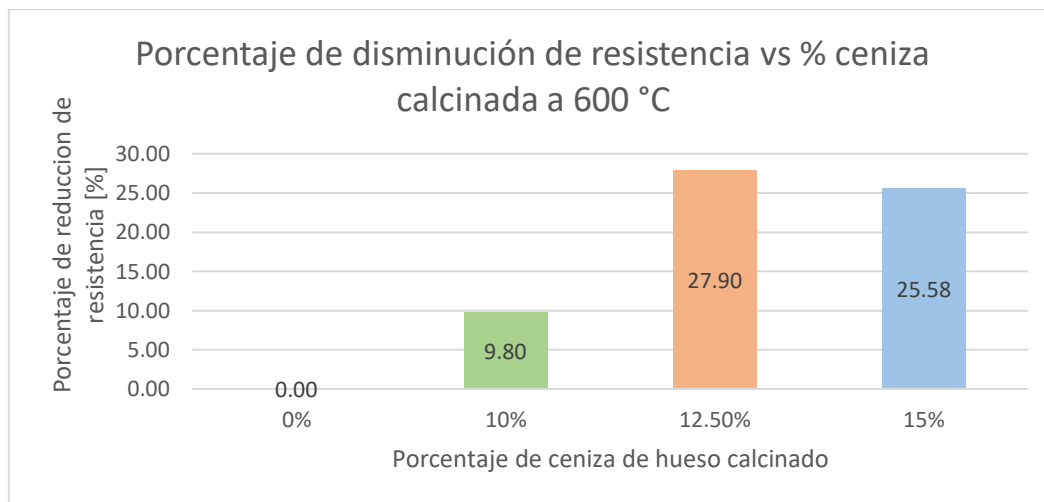


Figura 32. Variación porcentual de resistencia a compresión vs reemplazo de porcentaje de ceniza calcinada a 600 °C en el cemento

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

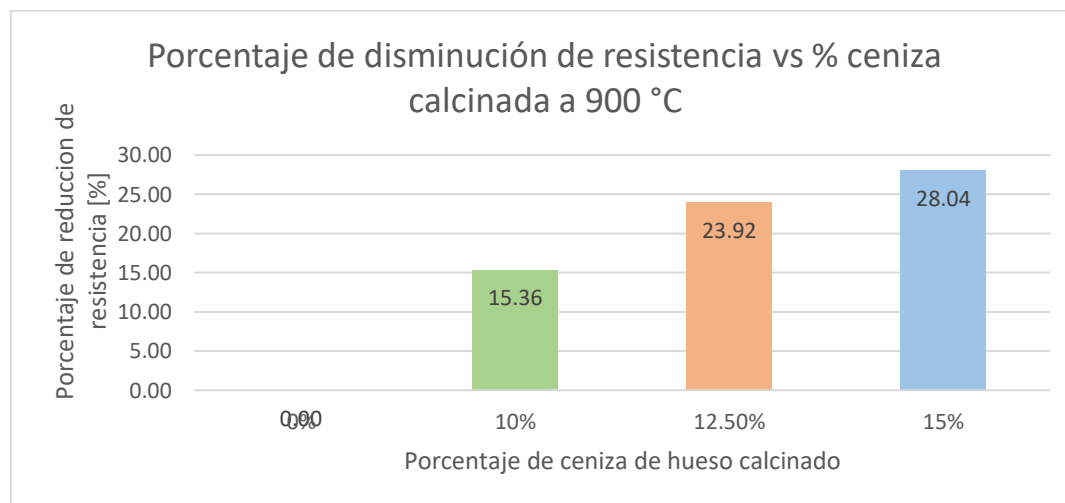


Figura 33. Variación porcentual de resistencia a compresión vs reemplazo de porcentaje de ceniza calcinada a 900 °C en el cemento

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

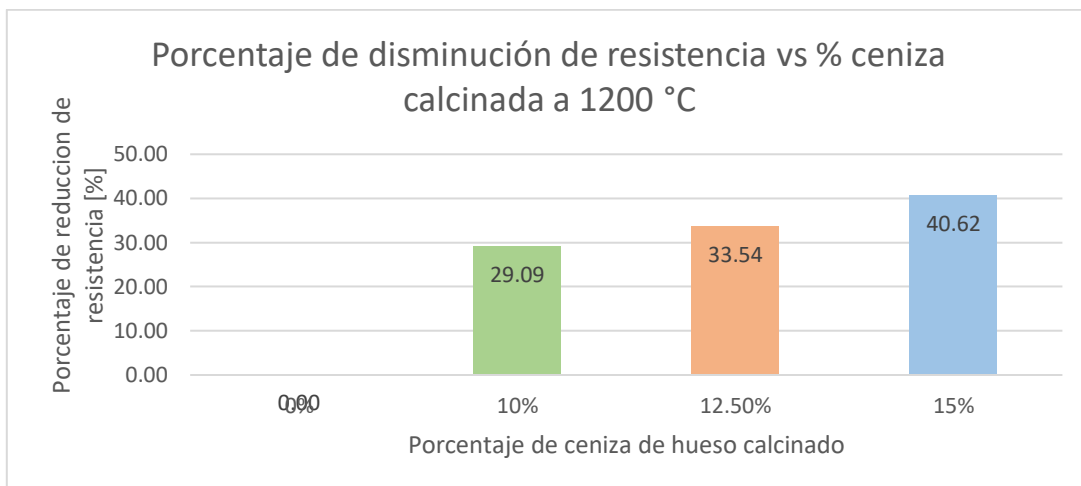


Figura 34. Variación porcentual de resistencia a compresión vs reemplazo de porcentaje de ceniza calcinada a 1200 °C en el cemento

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

En la siguiente Figura 35 se puede observar la variación que existe al reemplazar el 10% del peso del cemento por ceniza calcinada a diferentes temperaturas.

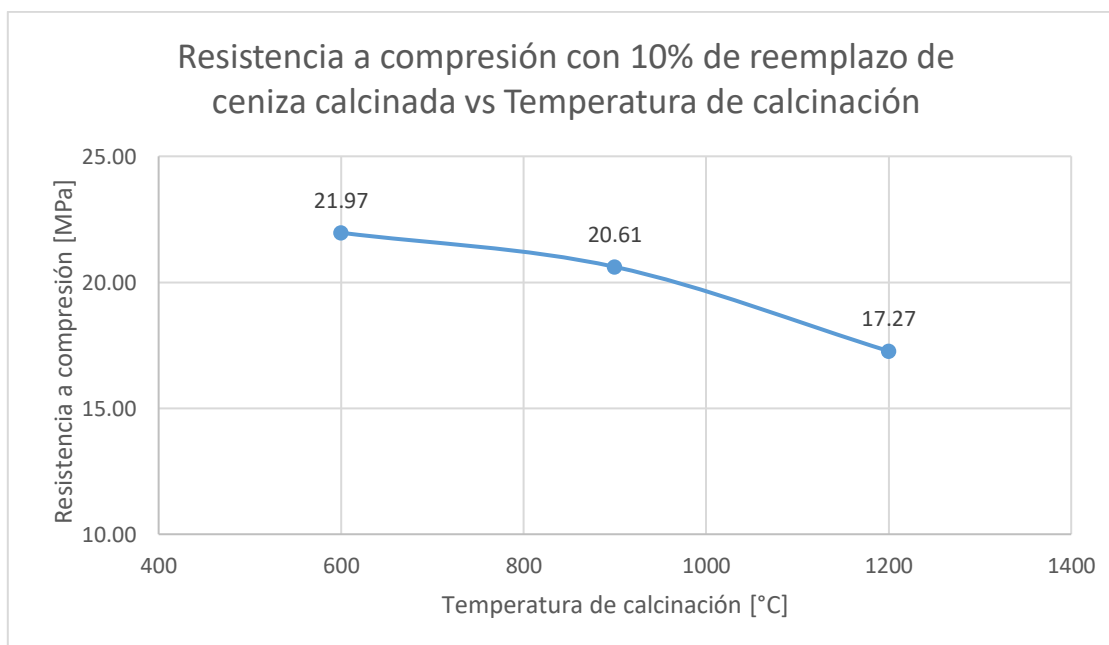


Figura 35. Variación de $f'c$ con 10% de reemplazo de ceniza calcinada vs temperatura de calcinación

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

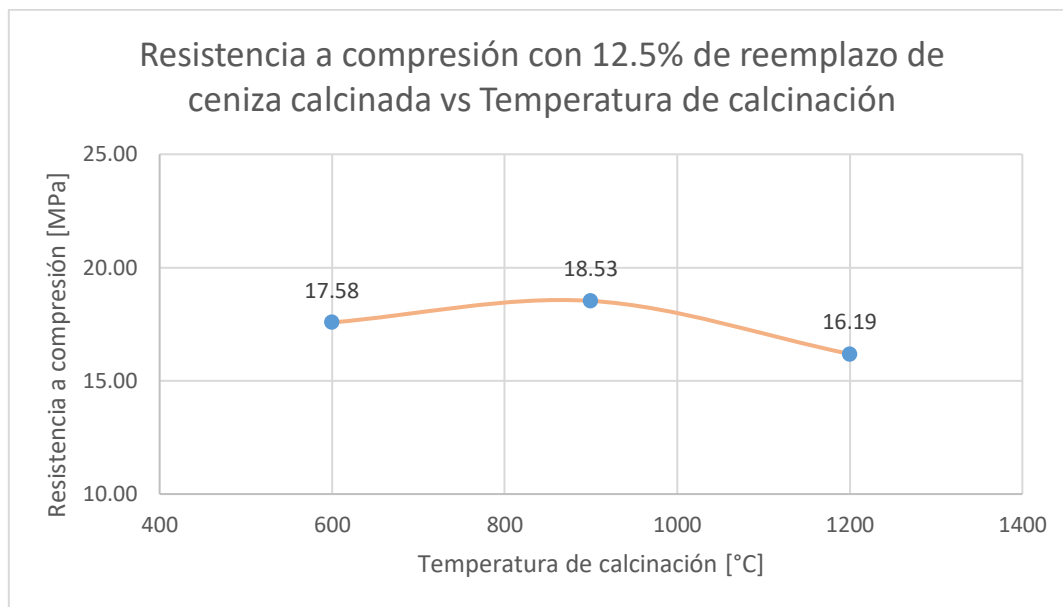


Figura 36. Variación de $f'c$ con 12.5% de reemplazo de ceniza calcinada vs temperatura de calcinación

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

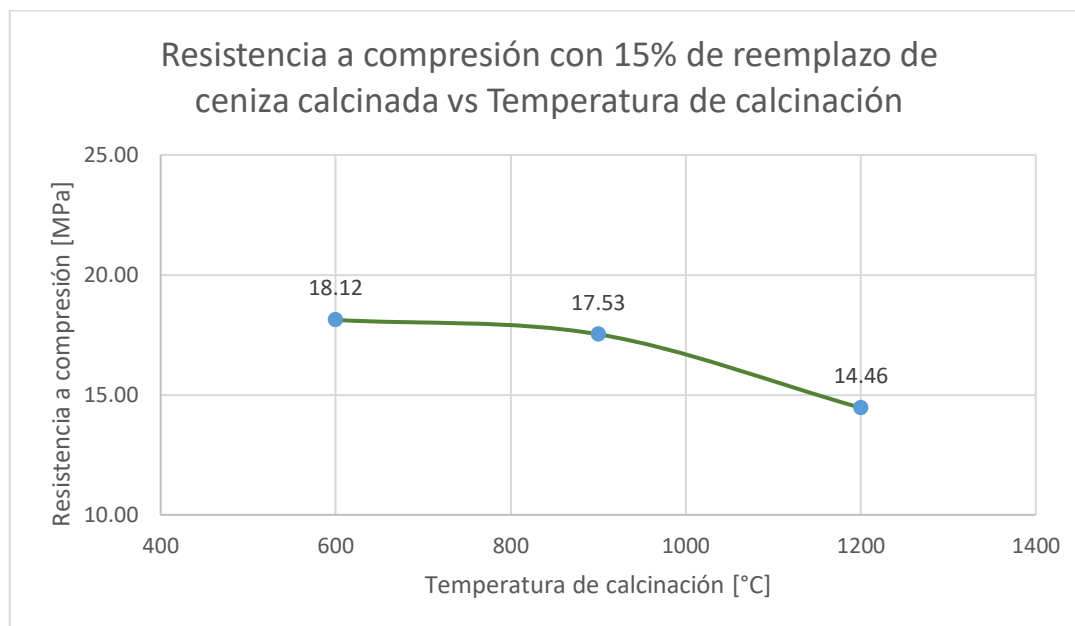


Figura 37. Variación de $f'c$ con 15% de reemplazo de ceniza calcinada vs temperatura de calcinación

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

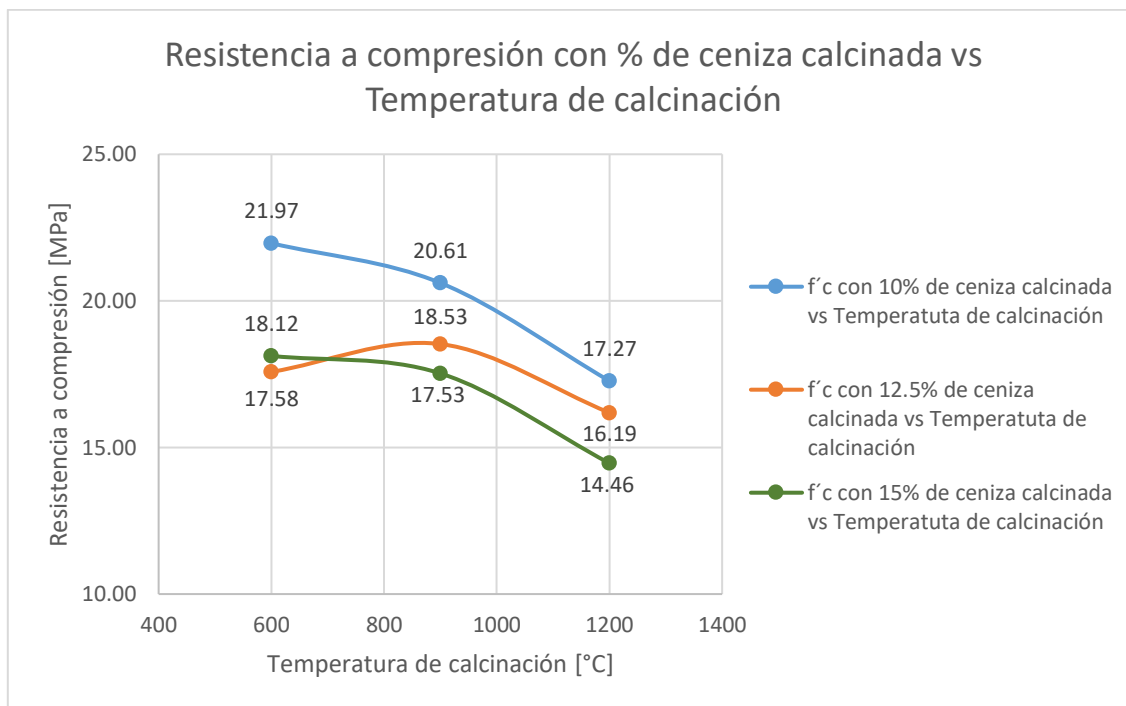


Figura 38. Variación general de $f'c$ con reemplazo de ceniza calcinada vs temperatura de calcinación

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

4.3. ANÁLISIS ECONOMICO

Para todo proyecto de ingeniería no solo se debe tomar en cuenta la parte constructiva o física, sino también la parte económica.

Para tener una noción del precio en la elaboración de un hormigón estándar y un hormigón con reemplazo parcial de ceniza de osamentas de animales, se realizó un análisis de precios unitarios al que se pudo observar que el costo para 1m³ de hormigón estándar de 24 MPa es de \$105.20 y para un hormigón con reemplazo de ceniza de hueso calcinado es de \$154.32.

Para el análisis de precios unitarios del hormigón con reemplazo parcial de ceniza de hueso calcinado se considera la reducción de cemento con el reemplazo

promedio de los tres porcentajes analizados que son: 10, 12.5, 15 % (Ver anexo 10).

En la siguiente tabla se puede observar un incremento del costo del hormigón con ceniza de hueso calcinado respecto al hormigón estándar de un valor de \$49.12

Tabla 23. Comparación de costos entre hormigón estándar y hormigón con reemplazo de ceniza de hueso calcinado

Hormigón	Resistencia [MPa]	Costo	Incremento	Porcentaje de incremento
Estándar	24	\$105.20	\$0	0%
Reemplazo de ceniza	24	\$154.32	\$49.12	45.27%

Elaborado por: (Jhonny Vaca, 2022)

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Tomando en cuenta la metodología de la norma ACI 211.1. para el diseño de hormigón estándar, se pudo conseguir la resistencia deseada de 24 MPa como establece la norma a la edad de 28 días, partiendo desde ese punto para la presente investigación.
- En la elaboración de la mezcla de hormigón, se puede concluir que la mezcla con reemplazo de ceniza de hueso calcinado absorbe más agua en relación con la mezcla realizada con el cemento estándar convencional, esto claramente se evidencia por el cambio de densidad que presenta la ceniza.
- De acuerdo a los ensayos de compresión simple se pudo evidenciar que las probetas realizadas con reemplazo de ceniza de hueso calcinado van disminuyendo su resistencia a comparación con el hormigón estándar, por lo tanto, mientras mayor sea el reemplazo de porcentaje de ceniza en el hormigón, menor será la resistencia.
- Los porcentajes de variación de la temperatura y cambios de porcentaje de ceniza respecto a la del hormigón estándar a los 28 días, son de -15.82 % para 600 °C, -16.83 % para 900 °C y -25.81 % para 1200 °C, por lo tanto, a mayor temperatura se va generando menor resistencia en el hormigón.
- Las fallas que se generaron en los cilindros de hormigón estándar fue en general de tipo 5, debido al desgaste que tenían en las esquinas de los cilindros, para las muestras con inclusión de ceniza de hueso calcinado generalmente tuvieron fallas de tipo 2 ya que se produjo fallas verticales en el cabezal superior y formando un cono en su extremo.

- Las osamentas de animales bovinos, para que se consideren como materia prima para la elaboración del hormigón es complejo por varios factores que conlleva: la limpieza, calcinación, trituración y pulverización. Generando gastos adicionales a los comunes en la fabricación del hormigón estándar.
- Considerando el análisis económico entre el hormigón estándar y el hormigón con reemplazo de ceniza de hueso calcinado, se puede concluir que el hormigón con reemplazo es más costoso con un alza de \$49.12 por 1m³. El costo adicional se da por adquirir, limpiar, calcinar, triturar y pulverizar el hueso.
- Las muestras elaboradas a distintas temperaturas y distintos porcentajes de ceniza de hueso calcinado, ninguna logra alcanzar la resistencia de diseño a los 28 días, considerando que al reemplazar la ceniza al 10 % a una temperatura de 600 °C, tiene una aproximación del 90.2 % a la resistencia estándar.
- Mediante la presente investigación se puede concluir que el reemplazo de ceniza de hueso calcinado en la dosificación del hormigón no es viable, debido a que no cumple con las propiedades físico mecánicas para elementos estructurales. En relación con el ambiente, llega a ser favorable porque se reduce el impacto ambiental que se generan en los centros de faenamiento.

5.2. RECOMENDACIONES

- Reciclar el hueso con la ayuda de la población, implementando charlas de reciclado, almacenamientos óptimos para evitar la descomposición de la materia orgánica, implementar molinos que ayuden con la trituración y pulverización de los huesos, esto con el propósito de reducir costos a gran escala y como propósito principal reducir la contaminación ambiental.
- Implementar lugares que cuenten con la tecnología adecuada para calcinación de huesos, debido a que hay una gran demanda de esta materia prima, ya sea para la agricultura, textiles, Etc. No se cuenta con hornos industriales que pueda generar la ceniza o harina de hueso.
- Tomar en cuenta las metodologías de las normas en cuanto caracterización de materiales para obtener resultados fiables.
- Al elaborarse tres probetas para cada diseño es recomendable utilizar diferentes recipientes para realizar la mezcla para que no haya de tal manera cambios en la dosificación, debido a la pérdida o absorción de agua en los diferentes ensayos.
- Se recomienda realizar probetas pilotos de hormigón para tener como punto de partida la elaboración de los especímenes originales y estos logren conseguir la resistencia requerida.
- Realizar un enrazado uniforme en la cara superior e inferior de las probetas para permitir una distribución uniforme de carga y evitar que se concentren esfuerzos en un solo lugar, provocando alteraciones en los resultados finales.
- Se sugiere seguir con la investigación tomando en cuenta el tiempo de calcinación de por lo mínimo 2 horas y un porcentaje de entre 5 a 10 % de reemplazo de ceniza de hueso en la dosificación de probetas, realizando la curva de endurecimiento, iniciando desde 7 hasta los 56 días. Esto puede generar mejores resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACI 211.1. (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete Reported by ACI Committe, 1,38*
- AGROCALIDAD. (2020, June 26). AGROCALIDAD REALIZA CONTROLES AL FAENAMIENTO A NIVEL NACIONAL - Agrocalidad. <https://www.agrocalidad.gob.ec/agrocalidad-realiza-controles-al-faenamiento-a-nivel-nacional/>
- Almeida, J., & Trujillo, C. (2017). "PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE UTILIZANDO VIDRIO TRITURADO EN LA ELABORACIÓN DE HORMIGONES. TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL. Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Astigarraga Urquiza, J. (1994). *Hornos industriales de resistencias: teoría, cálculo y aplicaciones. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=104786*
- ASTM C618. (2022). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete: ASTM International*
- ASTM C39. (2020). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. Pennsylvania: ASTM International*
- ASTM C136. (2019). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Pennsylvania: ASTM International.*
- ASTM C33. (2018). *Standard Specification for Concrete Aggregates. Pennsylvania: ASTM International.*
- ASTM C29. (2017). *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. Pennsylvania: ASTM International.*
- ASTM C128. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. Pennsylvania: ASTM International.*
- ASTM C40. (2020). *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete. Pennsylvania: ASTM International.*
- ASTM C131. (2020). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of*

SmallSize Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. Pennsylvania: ASTM International

ASTM C188. (2014). Standart Test Method For Density Of Hydraulic Cement. Pennsylvania: ASTM International.

Basantes, X. (2016). Despojos óseos, insumo de las mineras. Líderes.

Caeiro, J. R., González, P., & Guede, D. (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, 5(2), 99–108. <https://doi.org/10.4321/S1889-836X2013000200007>

Cánovas. (2007). Hormigón. Trujillo, Perú: Novena edición. Editorial Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos. Recuperado el 02 de 08 de 2021

*Carantioquia. (2016, January 1). Protocolo requerimientos técnicos y normativos para hornos ...
<https://www.yumpu.com/es/document/read/51477449/protocolo-requerimientos-tecnicos-y-normativos-para-hornos->*

Changoluisa, D., & Oña, G. (2018). Diseño de hormigón biocompuesto a partir de residuos de osamentas de animales. (Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil). UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Quito.

Díaz. (13 de 06 de 2015). Biomaterial regeneraría huesos de mascotas. Obtenido de <http://www.unperiodico.unal.edu.co/en/dper/article/biomaterial-regeneraria-huesos-de-mascotas.html>

*Empresa Metropolitana de Rastro Quito. (2020). Proceso de faenamiento - Empresa Publica Metropolitana de Rastro Quito.
<http://www.epmrq.gob.ec/index.php/servicios/faenamiento/faenamiento-bovinos>*

ETXEBERRIA, F. MUNIBE (Antropología-Arkeología). 2014.

*Fernández Castillo, R. (2011). Estudio histológico del hueso para análisis de los cambios por diferencia de temperatura.
<https://digibug.ugr.es/handle/10481/19851>*

- García, M. C. (2016, January 11). *Incineradores para desechos* .
<http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Julio-Agosto2005/CD1/pdf/spa/doc6995/doc6995-f3.pdf>
- Guamán, E., & Torres, V. (2019). *Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón biocompuesto elaborado con osamenta de animales- Segunda Etapa*. Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Guevara, G., Hidalgo, C., Pizarro, M., Valeciano, I., Rojas, L., & Segura, G. (2012). *Efecto de la variación agua/cemento en el concreto*. *Tecnología en Marcha*, 80-86.
- Hernandez. (2011). *Comportamiento físico y mecanico del mortero a base de cenizas del bagazo de caña de azúcar como árido en aplanado de muros*. México: Universidad Veracruzana. Recuperado el 02 de 08 de 2021.
- Jara, N. L., & Antonio, M. (2016). *CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO DE LA CALCINACIÓN DE HUESOS DE GANADO PARA LA COMUNIDAD DE ALAMBI EN LA PARROQUIA DE NONO* .
- Lazcano Vera. (2011). *Elaboración de Cuatro Tipos de Harinas a Base de Subproductos de Matadero en el Camal Frigorífico Municipal de Riobamba*.
<http://www.edicionestecnicasreunidas>.
- Luna, G. V. (2014). *Estudio del Hormigón: Guía didáctica para el diseño*. Quito: Edicumbre.
- Mora, J. (2019). *Tejido óseo, una nueva alternativa en agregados para el concreto*. *Ingeniería Solidaria* .
- Pedraza, F., Riveira, M., & Velásquez, E. V. (2017). *Evaluación de la resistencia a la compresión de un concreto hidráulico con reemplazo parcial de cemento por hueso bovino calcinado*. Bogotá. Recuperado el 02 de 08 de 2021
- Pin Quijije, C. A. (2016). *Proceso de faenamiento en el camal municipal y su efecto ambiental en la zona sur del Cantón Quevedo*. Año 2016 [Quevedo: UTEQ]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/1807>
- Ramirez Julieth Charris. (2011, September 21). *HUESOS, PEZUÑAS Y CUERNOS | EL PORTAL DEL SUBPRODUCTO*. *Revista* .

<http://tirsomestre.blogspot.com/2008/10/huesos-pezuas-y-cuernos.html>

Rivera, G. (1994). *Agregados para mortero o concreto*. Valle del Cauca.

San Antonio, T., Corvo, A., Chirinos, E., & Gubaira, E. (2004). . *INTRODUCCIÓN Dispositivo fragmentador de huesos para realizar autoinjertos*. *REVISTA INGENIERÍA UC*, 11(2), 19.

Sánchez de Guzman, D. (2006). *Durabilidad y patología del concreto*. Bogota: Instituto del concreto.

Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá: Bhandar Editores Ltda.

Somma De Feré, L. G., & Rochinotti, D. (2006). *USO DE LA CENIZA DE HUESOS PARA LA SUPLEMENTACIÓN MINERAL DE RUMIANTES EN PASTOREO* Volver a: *Suplementación mineral I IN NT TR RO OD DU UC CC CI IÓ ÓN N*. www.produccion-animal.com.ar

Somma, G. R. (2004). *Uso de la ceniza de huesos para suplantación mineral de rumiantes en pastoreo*. Obtenido de Mercedes, Corrientes, Noticias y Comentarios, Nº 386. P 1.: Recuperado de http://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/53-uso_ceniza_hueso.pdf

Somma, G., & Rochinotti, D. (2004). *Uso de la ceniza de huesos para la suplementación mineral de rumiantes en pastoreo*. Mercedes, Corrientes, Noticias y Comentarios Nº 386, 1-2.

Tobón, J. (2000). *Puzolana en los alrededores de irra*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de Medellín: Univerdidad Nacional de Colombia.

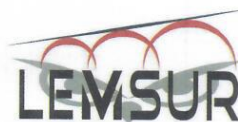
ANEXOS

ANEXO 1

Informe de análisis granulométrico del agregado fino



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-103-I
Hoja 01 de 01

Quito, 22 de febrero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: LUIS ANÍBAL ROMERO RAMOS; JHONNY STALIN VACA PILLAJO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997317314; 0984815411

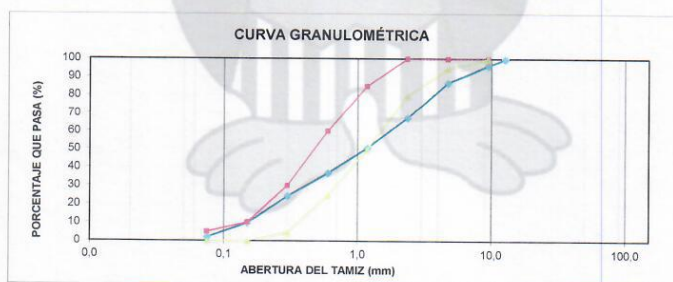
DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON REEMPLAZO PARCIAL DE OSAMENTAS DE ANIMALES CALCINADAS Y PULVERIZADAS

Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
MUESTRA: ARENA
PROCEDENCIA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2022-01-13
NORMA: ASTM C136M

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
1/2"	12.7	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.5	18.5	3.7	3.7	96.3
No. 4	4.750	47.2	9.3	13.0	87.0
No. 8	2.360	98.2	19.4	32.4	67.6
No. 16	1.180	84.8	16.8	49.2	50.8
No. 30	0.600	69.9	13.8	63.0	37.0
No. 50	0.300	63.5	12.6	75.5	24.5
No. 100	0.150	74.2	14.7	90.2	9.8
No. 200	0.075	38.2	7.6	97.8	2.2
BANDEJA	-	11.3	2.2	100.0	0.0
TOTAL		505,8			

Observaciones: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente



ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DE LABORATORIO



GR-F-22-016-I

Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 2

Informe de análisis granulométrico del agregado grueso



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-102-I
Hoja 01 de 01

Quito, 22 de febrero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

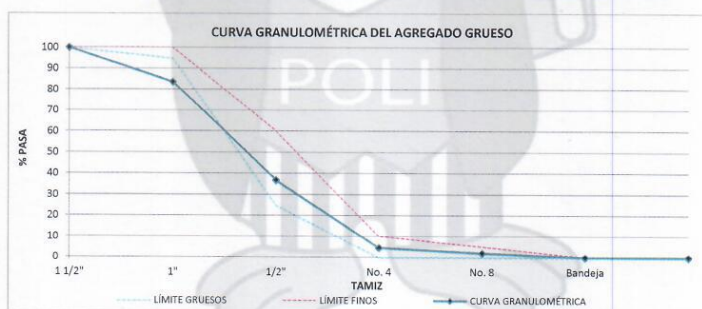
Razón social: LUIS ANÍBAL ROMERO RAMOS; JHONNY STALIN VACA PILLAJA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997317314; 0984815411

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON REEMPLAZO PARCIAL DE OSAMENTAS DE ANIMALES CALICINADAS Y PULVERIZADAS
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
MUESTRA: RIPIO
PROCEDENCIA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2022-01-13
NORMA: ASTM C136/C136M-14

PESO INICIAL (g)		10000,00	Número de Tamaño		57
TAMIZ	TAMAÑO	PESO	PORCENTAJE	PORCENTAJE RET.	PORCENTAJE
No.	ABERTURA	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA
	(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)
1 1/2"	37,50	0,0	0,0	0,0	100,0
1"	25,00	1631,1	16,3	16,3	83,7
1/2"	12,50	4673,4	46,8	63,1	36,9
No. 4	4,75	3227,1	32,3	95,4	4,6
No. 8	2,36	254,3	2,5	97,9	2,1
Bandeja	-	206,2	2,1	100,0	0,0
	TOTAL	9992,1	M. FINURA	5,9	

OBSERVACIONES: Los datos de procedencia de la muestra son responsabilidad del cliente.



ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 3

Informe de densidad aparente de agregado fino y grueso



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



DENSIDAD APARENTE

INF. No. 22 - 105- I
Hoja 01 de 01

Quito, 22 de febrero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: LUIS ANÍBAL ROMERO RAMOS; JHONNY STALIN VACA PILLAJO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997317314; 0984815411

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON REEMPLAZO PARCIAL DE OSAMENTAS DE ANIMALES CALCINADAS Y PULVERIZADAS
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: ***
TIPO DE MUESTRA: INDICADO
FECHA DE ENSAYO: 2022-01-13
NORMA: ASTM C29

DENSIDAD APARENTE AGREGADOS					
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MUESTRA SUELTA		MUESTRA COMPACTADA	
		DENSIDAD SECA (kg/m ³)	CONTENIDO DE VACÍOS (%)	DENSIDAD SECA (kg/m ³)	CONTENIDO DE VACÍOS (%)
003-I-01	ARENA	1706	31	1846	25
003-I-02	RIPIO	1363	44	1507	38

OBSERVACIÓN: La procedencia de los ítems de ensayo son proporcionadas por el cliente, lo que involucra su total responsabilidad.
Los datos de gravedad específica para el cálculo del contenido de vacíos se obtuvieron del archivo GSA-22-008-I

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 4

Informe de peso específico y absorción de agregado fino y grueso



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

INF. No. 22 - 104-I
Hoja 01 de 01

Quito, 22 de febrero de 2022

DATOS DEL CLIENTE


Razón Social: LUIS ANÍBAL ROMERO RAMOS; JHONNY STALIN VACA PILLAJO
Dirección: ***
Teléfono: 0997317314; 0984815411

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON REEMPLAZO PARCIAL DE OSAMENTAS DE ANIMALES CALCINADAS Y PULVERIZADAS
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: ***
TIPO DE MUESTRA: INDICADO
FECHA DE ENSAYO: 2022-02-16
NORMA: ASTM C128-15 / ASTM C127-15

RESULTADOS DEL ENSAYO					
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD RELATIVA SECA	DENSIDAD RELATIVA S.S.S	DENSIDAD RELATIVA APARENTE	ABSORCIÓN DE AGUA (%)
003-I-01	ARENA	2,48	2,58	2,76	4,12
003-I-02	RIPIO	2,45	2,54	2,71	4,01

OBSERVACIÓN: La procedencia de los ítems de ensayo son proporcionadas por el cliente, lo que involucra su total responsabilidad.


ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 5

Informe de contenido orgánico del agregado fino



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



CONTENIDO ORGÁNICO

INF. No. 22 - 107-I
Hoja 01 de 01

Quito, 22 de febrero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: LUIS ANÍBAL ROMERO RAMOS; JHONNY STALIN VACA PILLAJO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E 11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997317314; 0984815411

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON REEMPLAZO PARCIAL DE OSAMENTAS DE ANIMALES CALCINADAS Y PULVERIZADAS

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

PROCEDENCIA: ***

TIPO DE MUESTRA: AGREGADO FINO

FECHA DE ENSAYO: 2022-02-18

NORMA: INEN 855

ENSAYO DE CONTENIDO ORGÁNICO	
	ESCALA GARDNER
	0 <input checked="" type="checkbox"/>
	1 <input type="checkbox"/>
	2 <input type="checkbox"/>
	3 <input type="checkbox"/>
	4 <input type="checkbox"/>
5 <input type="checkbox"/>	

OBSERVACIÓN: La procedencia de los items de ensayo son proporcionadas por el cliente, lo que involucra su total responsabilidad.

ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 6

Informe de abrasión del agregado grueso



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



ENSAYO DE ABRASIÓN

INF. No. 22-106- I
Hoja 01 de 01

Quito, 22 de febrero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: LUIS ANÍBAL ROMERO RAMOS; JHONNY STALIN VACA PILLAJO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997317314; 0984815411

DATOS DEL PROYECTO


Proyecto: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON REEMPLAZO PARCIAL DE OSAMENTAS DE ANIMALES CALCINADAS Y PULVERIZADAS.

Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
TIPO DE MUESTRA: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2022-02-17
NORMA: ASTM C131

RESULTADOS DEL ENSAYO

MUESTRA:	RIPIO
GRADACIÓN:	A
NUMERO DE ESFERAS:	12
PESO INICIAL (g):	4999,3
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 100 REVOLUCIONES (g):	4335,50
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 500 REVOLUCIONES (g):	2603,20
PORCENTAJE DE PÉRDIDA 100 rev.(%):	13,28
PORCENTAJE DE PÉRDIDA 500 rev.(%):	47,93
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:	0,28

Observaciones: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente


ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



ABR22-003-I

Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 7

Informe de la densidad real y aparente de la ceniza de hueso calcinado



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

INF. No. 22 - 0383-I
Hoja 01 de 01

Quito, 9 de junio de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: JHONNY STALIN VACA PILLAJO; LUIS ANÍBAL ROMERO RAMOS
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0984815411; 0997317314

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON REEMPLAZO PARCIAL DE OSAMENTAS DE ANIMALES CALICINADAS Y PULVERIZADAS

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***


FECHA DE ENSAYO: 2022-05-19

NORMA: ASTM C188

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA		
MARCA	TIPO DE CEMENTO	FECHA DE FABRICACIÓN
***	CENIZA	***

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO						
MUESTRA	Volúmen inicial (cm ³)	Peso Inicial (g)	Volúmen final (cm ³)	Peso final (g)	Δ Temperatura (°C)	Densidad Real (g/cm ³)
CENIZA	0.5	321.8	19.1	367.5	0	2.46

OBSERVACIONES: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.


ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO

INF. No. 22 - 0384 - I
Hoja 01 de 01

Quito, 9 de junio de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: JHONNY STALIN VACA PILLAJO; LUIS ANÍBAL ROMERO RAMOS
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0984815411; 0997317314

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON REEMPLAZO PARCIAL DE OSAMENTAS DE ANIMALES CALICINADAS Y PULVERIZADAS

Contratante: ***
Contratista: ***

Fiscalizador: ***

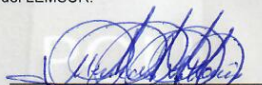
PROCEDENCIA: ***

TIPO DE CEMENTO: CENIZA
FECHA DE ENSAYO: 2022-05-19

NORMA: ***

DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO			
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD SUELTA g/cm ³	DENSIDAD COMPACTADA g/cm ³
22-003-I-1	CENIZA	0.777	0.886

OBSERVACIÓN: La información proporcionada por el cliente, tal como, descripción, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.


ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 8

Dosificación del hormigón por el método de la ACI 211.1

DOSIFICACIÓN MÉTODO DE LA ACI 211.1

DATOS

Materiales	P.e.	% Hum.	% Abs.	P.U.c	P.U.s
Agua	1.000	-----	-----	-----	-----
Cemento	2.930	-----	-----	-----	-----
Grava	2.450	0.000	4.010	1507	1363
Arena	2.480	0.000	4.120	1846	1706

Tipo de Hormigón [MPa]	24
M_{far}	3.2
TMN	1 "
Asent. [cm]	0

Resistencia media necesaria en laboratorio

$f'c =$	244.8	[kg/cm ²]
Como $211 < f'c < 352$; $f'cm = f'c + 84$		
$f'cm =$	328.8	[kg/cm ²]

Volumen del agua

Tomando en cuenta que el análisis a investigar es la resistencia a compresión del hormigón con reemplazo parcial de ceniza de hueso calcinado, se considera un asentamiento de cero. De tal manera que se realiza la interpolación adecuada para obtener un porcentaje estimado de agua.

AGUA EN LITROS POR METRO CUBICO DE HORMIGON

TMN de la Grava	% de aire natural estimado	ASENTAMIENTO [cm]		
		3 a 5	8 a 10	15 a 18
3/8"	3.0	205	225	240
1/2"	2.5	200	215	230
3/4"	2.0	185	200	210
1"	1.5	180	195	205
1 1/2"	1.0	160	175	185
2"	0.5	155	170	180

Fuente: (ACI 211.1)

TMN:	1 "
Asen:	0 cm
Agua:	163.9 lt/m ³ H ⁰

Relación agua/cemento

Relación a/c por peso	Resistencia media a la compresión a los 28 días kg/cm ²	
	Hormigon sin aire incluido	Hormigon con aire incluido
0.30	455	364
0.33	420	336
0.36	390	312
0.40	350	280
0.44	315	252
0.49	280	224
0.54	245	196
0.60	210	168
0.75	140	112
0.86	105	84

Fuente: (ACI 211.1)

Se realiza la interpolación para la resistencia media de 328.8 kg/cm² que genera un resultado de a/c= 0.424

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{163.9}{0.424} = 386.6 \approx \mathbf{386}$$

Cantidad de grava

TMN de la Grava	Volumen de Grava seca y compactada por unidad de volumen de hormigon para diferentes modulos de finura de la Arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8 "	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2 "	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4 "	0.66	0.64	0.62	0.60
1 "	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2 "	0.76	0.74	0.72	0.70
2 "	0.78	0.76	0.74	0.72

Se considera el módulo de finura de la arena de **3.2** y el TMN de la grava de 1", re realiza la interpolación dando un resultado de **0.63 m³**

$$Peso\ de\ la\ grava = Volumen\ grava * peso\ compactado$$

$$Peso\ de\ la\ grava = 0.63 * 1507 = \mathbf{949.41\ kg}$$

Cantidad de arena

$$V_{arena} = 1 - \left(\frac{V_a}{\rho_{agua} * 1000} + \%aire + \frac{P_{grava}}{\rho_{grava} * 1000} + \frac{Cemento}{\rho_{cemento} * 1000} \right)$$

$$V_{arena} = 1 - \left(\frac{163.9}{1 * 1000} + 0.015 + \frac{949.41}{2.45 * 1000} + \frac{386}{2.93 * 1000} \right)$$

$$V_{arena} = 0.302\ m^3$$

$$P_{arena} = 0.302\ m^3 * 2.48 \frac{g}{m^3} * 1000 = \mathbf{748.28\ kg}$$

Tabla de resumen

Material	Por peso p/1 m ³		Relación	Por volumen p/1 m ³	Para 50.0 [t]	Para una bolsa de cemento
	Seco	Húmedo				
Agua	163.90	232.80	0.60	0.233	11.6	30.1
Cemento	386.35	386.35	1	0.132	19.3	50.0
Grava	949.41	949.41	2.46	0.388	47.5	122.9
Arena	748.28	748.28	1.94	0.302	37.4	96.8

ANEXO 9

Informe del ensayo de resistencia a compresión de las probetas a los 28 días



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 22 - 0386-I
Hoja 01 de 02

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: JHONNY STALIN VACA PILLAJO; LUIS ANIBAL ROMERO RAMOS
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0984815411; 0997317314

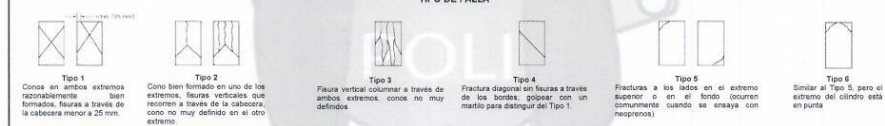
Quito, 5 de julio de 2022

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON REEMPLAZO PARCIAL DE OSAMENTAS DE ANIMALES CALICINADAS Y
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: ***
NORMA: ASTM C39

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO * ESPECÍFICO (kg/m ³)	CARGA MÁX. (kN)	TIPO DE FALLA	DEFECTOS	RESISTENCIA	
											(MPa)	± U (MPa)
1	CE1	2022-06-01	2022-07-04	33	101.50	8091	2290	204.2	TIPO 1	A	25.3	0.06
2	CE2	2022-06-01	2022-07-04	33	100.50	7933	2290	190.2	TIPO 5	A	24.0	0.06
3	CE3	2022-06-01	2022-07-04	33	101.75	8131	2280	192.1	TIPO 2	A	23.6	0.06
4	C1106	2022-06-01	2022-07-04	33	100.00	7854	2310	177.1	TIPO 2	A	22.5	0.06
5	C2106	2022-06-01	2022-07-04	33	101.50	8091	2260	172.0	TIPO 2	A	21.3	0.06
6	C3106	2022-06-01	2022-07-04	33	102.25	8211	2260	180.5	TIPO 4	A	21.9	0.06
7	C1126	2022-06-01	2022-07-04	33	102.25	8211	2260	150.2	TIPO 2	A	18.3	0.06
8	C2126	2022-06-01	2022-07-04	33	101.50	8091	2250	132.6	TIPO 2	A	16.4	0.05
9	C3126	2022-06-01	2022-07-04	33	100.75	7972	2240	142.2	TIPO 2	A	17.9	0.06
10	C1156	2022-06-01	2022-07-04	33	101.50	8091	2270	148.7	TIPO 2	A	18.4	0.06
11	C2156	2022-06-01	2022-07-04	33	102.00	8171	2250	135.7	TIPO 2	A	16.6	0.05
12	C3156	2022-06-01	2022-07-04	33	100.75	7972	2270	151.9	TIPO 2	A	19.1	0.06
13	C1109	2022-06-02	2022-07-04	32	101.00	8012	2240	151.9	TIPO 2	A	19.0	0.06
14	C2109	2022-06-02	2022-07-04	32	101.75	8131	2230	170.4	TIPO 2	A	20.9	0.06
15	C3109	2022-06-02	2022-07-04	32	102.00	8171	2270	178.0	TIPO 2	A	21.8	0.06

TIPO DE FALLA



DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS: A = NINGUNO; B = SEGREGADO; C = POROSIDAD; D = FISURAS PREEXISTENTES; E = OTRA

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionados por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados en las condiciones en que se recibieron.

U representa la incertidumbre expandida de los resultados.

El tipo de falla y defectos corresponde a lo especificado en la norma ASTM C39.

El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 22 - 0386-I
Hoja 02 de 02

DATOS DEL CLIENTE
Razón social: JHONNY STALIN VACA PILLAJO; LUIS ANIBAL ROMERO RAMOS
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0984815411; 0997317314

Quito, 5 de julio de 2022

DATOS DEL PROYECTO
Proyecto: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON REEMPLAZO PARCIAL DE OSAMENTAS DE ANIMALES CALICINADAS Y
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: ***
NORMA: ASTM C39

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIAMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO * ESPECÍFICO (kg/m ³)	CARGA MÁX. (KN)	TIPO DE FALLA	DEFECTOS	RESISTENCIA	
											(MPa)	±U (MPa)
1	C1129	2022-06-02	2022-07-04	32	101.50	8091	2240	145.2	TIPO 1	A	17.9	0.11
2	C2129	2022-06-22	2022-07-04	12	101.50	8091	2260	152.5	TIPO 2	A	18.8	0.11
3	C3129	2022-06-22	2022-07-04	12	101.25	8052	2280	147.1	TIPO 2	A	18.3	0.11
4	C1159	2022-06-22	2022-07-04	12	100.75	7972	2250	141.5	TIPO 2	A	17.7	0.11
5	C2159	2022-06-22	2022-07-04	12	101.50	8091	2250	141.5	TIPO 2	A	17.5	0.11
6	C3159	2022-06-02	2022-07-04	32	101.75	8131	2240	137.1	TIPO 2	A	16.8	0.11
7	C11012	2022-06-06	2022-07-04	28	102.25	8211	2240	140.6	TIPO 2	A	17.1	0.11
8	C21012	2022-06-06	2022-07-04	28	101.50	8091	2270	140.7	TIPO 2	A	17.4	0.11
9	C31012	2022-06-06	2022-07-04	28	101.75	8131	2240	136.7	TIPO 2	A	16.8	0.11
10	C11212	2022-06-06	2022-07-04	28	101.00	8012	2250	132.0	TIPO 2	A	16.5	0.11
11	C21212	2022-06-06	2022-07-04	28	101.75	8131	2260	131.1	TIPO 2	A	16.1	0.11
12	C31212	2022-06-06	2022-07-04	28	100.75	7972	2260	122.7	TIPO 2	A	15.4	0.11
13	C11512	2022-06-06	2022-07-04	28	100.75	7972	2230	107.6	TIPO 2	A	13.5	0.11
14	C21512	2022-06-06	2022-07-04	28	101.75	8131	2230	116.3	TIPO 2	A	14.3	0.11
15	C31512	2022-06-06	2022-07-04	28	101.25	8052	2250	121.6	TIPO 2	A	15.1	0.11

TIPO DE FALLA						

DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS: A = NINGUNO, B = SEGREGADO, C = POROSIDAD, D = FISURAS PREEXISTENTES, E = OTRA
OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionados por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados en las condiciones en que se recibieron. U representa la incertidumbre expandida de los resultados. El tipo de falla y defectos corresponde a lo especificado en la norma ASTM C39. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 10

Análisis de precios unitarios de hormigón estándar y hormigón con reemplazo de ceniza de huesos calcinados

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Hormigón simple fc 240 kg/cm3

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR	0.00	0.00	0.00	0	1.01
CONCRETERA	1	4	4.00	1	4.00
VIBRADOR	1	2	2.00	1	2.00
SUBTOTAL M					7.01
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
MAESTRO MAYOR	1.00	4.50	4.50	1.00	4.50
ALBAÑIL	2.00	3.50	7.00	1.00	7.00
PEON	3.00	2.87	8.61	1.00	8.61
SUBTOTAL N					20.11
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
CEMENTO	qq	7.72	8.40	64.85	
ARENA	m3	0.30	13.75	4.13	
RIPIO	m3	0.60	15	9.00	
AGUA	m3	0.14	0.8	0.11	
SUBTOTAL				78.09	
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
NO APLICA	0	0	0	0	
SUBTOTAL P				0	
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					105.20

Nota: Estos precios no incluyen IVA

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Hormigón de 24 MPa con reemplazo de ceniza de hueso calcinado

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01
CONCRETERA	1.00	4.50	4.50	1.00	4.50
VIBRADOR	1.00	2.00	2.00	1.00	2.00
HORNO	1.00	3.75	3.75	1.00	3.75
SUBTOTAL M					11.26

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
MAESTRO MAYOR	1.00	4.50	4.50	1.00	4.50
ALBAÑIL	2.00	3.50	7.00	1.00	7.00
PEON	3.00	2.87	8.61	1.00	8.61
PEON P/MOLIENDA	1.00	2.87	2.87	1.00	2.87
SUBTOTAL N					22.98

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
CEMENTO	qq	6.75	8.40	56.70
ARENA	m3	0.30	13.75	4.13
RIPIO	m3	0.60	15.0	9.00
AGUA	m3	0.14	0.80	0.11
HUESO	kg	50.0	1,00	50.0
SUBTOTAL O				119.94

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
NO APLICA	0	0	0	0
SUBTOTAL P				0

TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	154.32
---------------------------------------	---------------

Nota: Estos precios no incluyen IVA