

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:  
CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO DE LA CALCINACIÓN DE HUESOS  
DE GANADO PARA LA COMUNIDAD DE ALAMBI EN LA PARROQUIA DE  
NONO**

**AUTORES:  
LOOR JARA MARCO ANTONIO  
MERA OÑA WAGNER FERNANDO**

**TUTOR:  
QUITIAQUEZ SARZOSA WILLIAM GIOVANNY**

**Quito, Agosto 2016**

## Cesión de derechos de autor

Nosotros Loor Jara Marco Antonio, portador de la cedula de ciudadanía N° 1720078508 y Mera Oña Wagner Fernando, con documento de cedula de ciudadanía N° 1600419723, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: Caracterización del producto de la calcinación de hueso de ganado para la comunidad ubicada en Alambi en la parroquia de Nono, mismo que ha sido desarrollado para designar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....  
**Nombre:** Loor Jara Marco Antonio

**Cédula:** 1720078508

**Fecha:** 2016 – 08 – 06



.....  
**Nombre:** Mera Oña Wagner Fernando

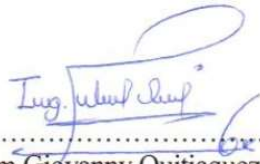
**Cédula:** 1600419723

**Fecha:** 2016 – 08 – 06

### **Declaratoria de coautoría del docente tutor**

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación (CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO DE LA CALCINACIÓN DE HUESO DE GANADO PARA LA COMUNIDAD DE ALAMBI EN LA PARROQUIA DE NONO) realizado por (Loor Jara Marco Antonio y Mera Oña Wagner Fernando), obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Agosto 2016



.....  
Ing. William Giovanni Quitiaquez Sarzosa M.Sc.  
C.I.:1721609764

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a Dios, por permitirme alcanzar siempre aquellos logros personales y profesionales que he anhelado. A mi madre por su infinita paciencia y por todos sus cuidados, también a mi padre, por su ayuda en todo este proceso, a mis hermanos por todas las alegrías que he recibido hasta el día de hoy, a toda mi familia, a mis amigos y a mis colegas, así como también a todas las personas que me rodean y me aprecian con sinceridad. A la vida, y a todos aquellos que me han permitido crecer y me han dado la oportunidad de aprender cada día.

Marco Antonio Loor

Dedico el siguiente trabajo a Dios porque sin su gloria nada es posible y por el cual se facilitaron muchas cosas en el transcurso de la realización del trabajo. A mi madre por todos sus consejos y por estar siempre presente en mis triunfos y derrotas, de igual manera a mi padre, porque gracias a él aprendí a forjar el carácter y valorar el trabajo duro, las oportunidades además de concientizar el inmenso esfuerzo que hacían por darme el estudio. A mis hermanos los cuales me han cuidado, querido y defendido de todas las injusticias de la vida en mis primeros pasos. A mis familiares que lastimosamente ya no se encuentran con vida y fueron pieza fundamental en mis decisiones. A toda mi familia por los cuales soy lo que soy en la actualidad y me han acompañado en todo el transcurso de mi vida. Y finalmente a la vida que con sus altos y bajos me ayudo a crecer como persona, hijo, hermano y profesional.

Wagner Fernando Mera

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos la colaboración para la entrega de este trabajo a la Universidad Politécnica Salesiana y a todos sus colaboradores.

A nuestro Tutor el Ingeniero William Quitiaquez, por sus aportes, observaciones y principalmente por su compromiso en la ejecución del presente.

También debemos agradecer a los docentes que nos permitieron realizar esta labor de vinculación con la colectividad, los ingenieros Milton Jami, Christian Juiña, Patricio Quitiaquez.

Al personal docente de la Carrera de Ingeniería Mecánica, a los integrantes del campus Kennedy que contribuye diariamente a nuestra formación como profesionales y al equipo de trabajo administrativo, cuyos integrantes colaboraron y guiaron nuestras acciones hasta culminar nuestro estudio.

Por sus indicaciones y aportes agradecemos al licenciado William Cárdenas.

Al Gobierno Autónomo de la parroquia de Nono, tanto a sus representantes como a su comunidad, fue indispensable la participación del señor Rolando Hipo, y la confianza de la comunidad de Alambi en nuestras capacidades como Ingenieros Mecánicos.

A instituciones como la Escuela Politécnica Nacional y La Universidad Central del Ecuador, quienes facilitaron sus instalaciones en favor de nuestra investigación.

A todos ustedes, muchas gracias.

Marco Antonio Loor - Wagner Fernando Mera

## **RESUMEN**

El presente trabajo consiste en una investigación sobre el aprovechamiento de los residuos de ganado bovino, una vez concluido el proceso de faenado, el hueso de res considerado residuo, y requiere de tratamiento ambiental, sin embargo puede ser aprovechado en la generación de diferentes productos.

De esta manera la información presentada, recoge datos referentes a la utilización de hueso de res, a las herramientas disponibles para el calcinado, la generación de probetas de hueso y la caracterización del mismo una vez calcinado.

Basado en la metodología seleccionada, en este trabajo realizó el proceso iterativo de calcinado de hueso y posteriormente varios ensayos de laboratorio que permitieron obtener datos sobre las características mecánicas modificadas en los productos calcinados hasta llegar a convertir el hueso en ceniza.

Se realizó la caracterización de los residuos calcinados obteniendo las observaciones relevantes sobre los cambios producidos en lo referente al color, resistencia a la compresión y además de los costos que se generan en el proceso de calcinado.

Se describe el uso de la herramienta seleccionada para el proceso, correspondiente a un horno de resistencias eléctricas, identificando el tiempo de exposición y las temperaturas adecuadas para obtener propiedades específicas en los residuos calcinados, principalmente para la posterior utilización como harina de hueso y abono orgánico.

**PALABRAS CLAVE:** Hueso calcinado; harina de hueso; hueso cortical; compresión de hueso; probeta de hueso; propiedades del hueso; hueso bovino.

## ABSTRACT

This document is an investigation into the use of waste from cattle. Once the dressing process is completed, the residual bone is considered to be waste, and requires environmental treatment, however, can be exploited in the generation of different products.

Thus the information, collects data, considers the use of cattle bone tools available for calcining, the detection of bone specimens and characterization of it after burned.

Based on the selected methodology, this paper carried out the iterative process of calcined bone and subsequently several laboratory tests that allowed to obtain data on the mechanical properties modified on calcined products to get bone ashes.

Characterization of waste burned was made obtaining relevant observations on the changes in color, compressive strength, and in addition the costs generated in calcining process.

Using the selected tool for process corresponding to electric resistances oven was described, it was identified the exposure time and appropriate temperature to get specific properties in calcined bones, mainly for later use as bone meal and compost temperatures.

**KEYWORDS:** calcined bone; bone meal; cortical bone; bone compression; bone specimen; properties of bone; bovine bone.

## CONTENIDO

1. CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO SOBRE CARACTERIZACIÓN DEL HUESO DE RES .....	4
1.1. Desecho óseo como producto del faenamiento de ganado bovino.....	4
1.2. Propiedades del material óseo.....	6
1.3. Biomecánica del hueso .....	7
1.4. Uso de la harina de hueso. ....	8
1.5. Calcinado de hueso .....	9
1.6. Tipos de hornos incineradores .....	9
1.6.1. Horno de Parrilla. ....	11
Residuos .....	12
Características.....	12
Ventajas.....	12
Desventajas.....	13
1.6.2. Horno Lecho Fluidizado. ....	13
Residuos .....	13
Características.....	14
Ventajas.....	14
Desventajas.....	15
1.6.3. Hornos Rotatorios. ....	15
Residuos admitidos .....	15
Características.....	16
Ventajas.....	16
Desventajas.....	16
1.6.4. Horno de Inyección Líquida .....	17
Residuos .....	17
Características.....	17



Ventajas.....	18
Desventajas.....	18
1.6.5. Hornos Hoffman.....	18
Características.....	19
Ventajas.....	19
Desventajas.....	19
1.6.6. Horno de Gas.....	20
Características.....	20
Ventajas.....	20
Desventajas.....	21
1.6.7. Horno de Túnel.....	21
Características.....	21
Ventajas.....	22
Desventajas.....	22
1.6.8. Horno de Mufla.....	23
Características.....	23
Ventajas.....	23
Desventajas.....	24
1.6.9. Horno de Cámaras.....	24
Características.....	24
Ventajas.....	24
Desventajas.....	25
1.6.10. Horno Eléctrico.....	25
Características.....	25
Ventajas.....	26
Desventajas.....	26
1.7. Selección de alternativas:.....	27

1.7.1 Identificación de las necesidades.....	27
1.7.2. Selección de la alternativa y solución:.....	28
1.8. Metodología. ....	29
2. CAPÍTULO 2: ESTUDIO Y ENSAYOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL HUESO.....	31
2.1. Información del Sector.....	31
2.1.1. Razas de ganado bovino de principal producción y faenamiento en la parroquia de Nono. ....	31
2.1.2. Clasificación del ganado bovino con respecto a las edades.....	34
2.2. Selección del hueso y ensayos.....	34
2.3. Procedimiento .....	35
2.3.1. Segmentación del hueso entero. ....	36
2.3.2. Calcinado de hueso. ....	39
2.3.3. Ensayo de compresión. ....	41
3. CAPÍTULO III: ANÁLISIS ECONÓMICO.....	45
3.1 Equipos, herramientas y suministro de energía.....	45
3.1.1 Equipos y herramientas para el proceso de calcinado.....	45
3.2 Obtención de probetas y ensayos .....	51
3.2.1 Obtención de huesos de ganado: .....	51
3.2.2 Obtención de probetas y ensayos .....	51
CONCLUSIONES.....	52
RECOMENDACIONES.....	54
ANEXOS .....	59

## Índice de figuras

Figura 1: Diagrama Causa-Efecto. ....	2
Figura 2: Unidades de ganado faenadas en 2016.....	5
Figura 3: Constitución de un hueso, visto desde un corte transversal. ....	6
Figura 4: La raza bovina de leche.....	32
Figura 5: Vaca de registro Pardo suizo tipo americano.....	32
Figura 6: Semental Aberdeen Angus.....	33
Figura 7: Comportamiento del hueso en sus propiedades bioceánicas. ....	36
Figura 8: Huesos con alta irregularidad correspondientes a diferentes individuos como: (a) novillo, (b) ternero, (c) torete, (d) vacona.....	37
Figura 9: Mecanizado del huesos de ganado bovino adulto.....	37
Figura 10: Probeta de hueso, correspondiente a un cilindro hueco, con dimensiones: ( $\phi_i$ ) diámetro interior, ( $\phi_e$ ) diámetro externo, ( $h$ ) altura de la probeta.....	38
Figura 11: Calcinado de las distintas muestras de hueso a diferentes temperaturas. ....	39
Figura 12: Muestras posteriores al proceso de calcinado a diferentes temperaturas. ....	41
Figura 13: Diagrama de dispersión de carga máxima en compresión.....	43
Figura 14: Diagrama de dispersión de carga máxima en compresión.....	44
Figura 15: Muestras posteriores al proceso de calcinado a $550^{\circ}C$ .....	59
Figura 16: Muestras posteriores al proceso de calcinado a $800^{\circ}C$ .....	59
Figura 17: Obtención de las pesas y medidas de las probetas. ....	60
Figura 18: Muestra sometida a compresión en el laboratorio LEMSUR.....	60
Figura 19: Horno Eléctrico encendido. ....	60
Figura 20: Hueso femoral bovino.....	60
Figura 21: Hueso femoral de toro.....	60
Figura 22: Hueso femoral de ternera. ....	60
Figura 23: Probetas previo al calcinado .....	60
Figura 24: Limpieza y selección del hueso. ....	60
Figura 25: Muestras piloto calcinadas. ....	60
Figura 26: Muestras regulares posterior a la compresión. ....	60
Figura 27: Probeta regular de hueso cortical.....	60
Figura 28: Probeta regular calcinada.....	60

## Índice de Tablas.

Tabla 1. Unidades de ganado bovino faenado en la parroquia Nono 2015.....	4
Tabla 2. Unidades de ganado bovino faenado en la parroquia Nono 2016.....	5
Tabla 3. Valoración porcentual de alternativas.....	28
Tabla 4. Clasificación del ganado bovino en función de su edad.....	34
Tabla 5. Niveles jerárquicos del hueso según varios autores.....	35
Tabla 6. Observaciones de los residuos de hueso calcinado.....	40
Tabla 7. Ensayo de compresión con probetas sin fracturas.....	42
Tabla 8. Probetas no aptas para el ensayo de compresión. ....	43
Tabla 9. Tiempos de encendido y tiempos de apagado en una quema a 300 ° C . ....	46
Tabla 10. Tiempos de encendido y tiempos de apagado en una quema a 550 ° C . ....	47
Tabla 11. Tiempos de encendido y tiempos de apagado quema a 800 ° C . ....	48

## Índice de Ecuaciones.

[Ecuación 1] .....	45
[Ecuación 2] .....	45
[Ecuación 3] .....	46
[Ecuación 4] .....	49
[Ecuación 5] .....	49
[Ecuación 6] .....	50

## Introducción

El desarrollo de los productos obtenidos a partir de huesos o tejido óseo, inicia en la antigüedad, de este tejido se ha podido obtener herramientas e instrumentos para diferentes fines, la calcinación del hueso también aparece siglos anteriores, permitiendo de esta forma obtener productos derivados.

En la actualidad representa una actividad importante en diferentes sociedades y sectores orientados a la producción y desarrollo de diferentes bienes, servicios y tecnologías.

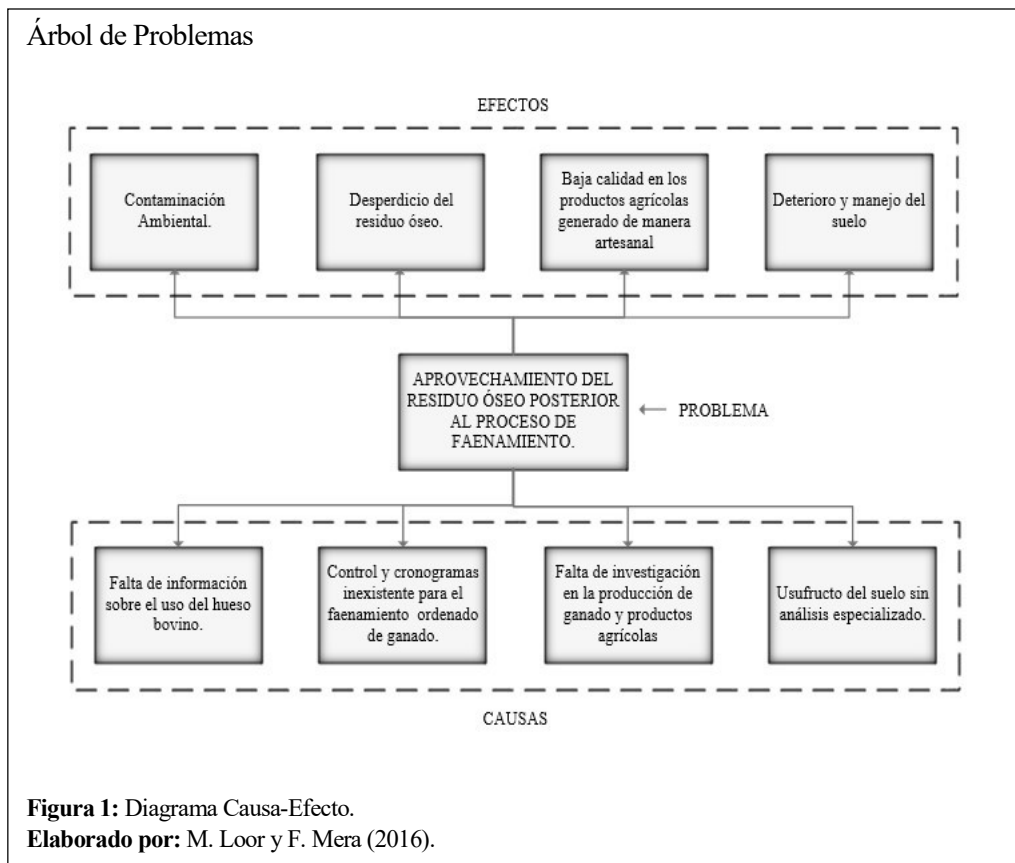
La calcinación de huesos y el cremado, se puede desarrollar mediante hornos que alcanzan altas temperaturas. Según lo indicado por Etxeberria (2014) las propiedades del hueso cambian al someterse a altas temperaturas, también se modifica la constitución física y química del producto, por ello este trabajo pretende identificar las propiedades alteradas como la dureza y resistencia del hueso calcinado, mediante la realización de distintos ensayos de tracción, dureza y las observaciones sobre su aspecto, mismos que de forma iterativa permitirán determinar los posibles usos y un proceso óptimo para la obtención del producto.

En lo referente a la parroquia de Nono, durante el 2015 se obtuvo la cantidad de 557 unidades de ganado faenadas, la cantidad de unidades faenadas durante el primer trimestre del mismo año fue de 142 unidades, cifra que al ser comparada con el primer trimestre del año 2016 con 154 unidades faenadas, nos permite determinar que existe un incremento del 8.45 por ciento (%) sobre la producción de carne del sector.

## Planteamiento del problema

Actualmente en nuestro medio, no existe ninguna herramienta, ni información útil sobre el aprovechamiento de residuos, principalmente en lo referente al hueso de diferentes tipos de ganado posterior al proceso de faenamiento, tampoco existe una gestión ordenada sobre este proceso en las comunidades de la zona rural de Nono.

En la actualidad la comunidad de Alambi realiza el proceso de calcinado de hueso de una manera totalmente artesanal y a baja escala, es decir que para la obtención de calcinado de hueso de res, requieren exponer al hueso a una llama directa la cual es producida por la quema de leña o a su vez trozos de madera durante un periodo aproximado de 24 horas o más.



## **Objetivo General**

Realizar el proceso de calcinado de hueso, a diferentes condiciones ambientales, con el fin de obtener datos referentes a las propiedades mecánicas relacionadas con la elasticidad, resistencia y fragilidad del hueso que se puedan identificar a la culminación del mismo.

## **Objetivos Específicos**

- ✓ Recopilar información correspondiente a la administración y caracterización del hueso obtenido como residuo, producto del faenamiento de ganado.
- ✓ Estudiar el estado del arte de los diferentes hornos utilizados para realizar el proceso de calcinado de hueso de forma efectiva.
- ✓ Realizar ensayos de laboratorio en lo referente a propiedades físicas del producto del hueso calcinado.
- ✓ Presentar datos tabulados y representaciones gráficas de las características que presenta el hueso de ganado calcinado.
- ✓ Entregar un subproducto del calcinado de hueso bovino para sentar un precedente en futuras investigaciones relacionadas con esta investigación.



## 1. CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO SOBRE CARACTERIZACIÓN DEL HUESO DE RES

Las propiedades relacionadas a la resistencia del hueso se ven influenciadas según la longitud, tamaño o forma del hueso. Existen también situaciones que pueden modificar las propiedades mecánicas, estas situaciones pueden ser fisiológicas, patológicas o externas que se producen por obesidad, envejecimiento, enfermedades y consideramos externos a los procesos que pueden ser ejecutados para modificarlos como el secado o calcinado del hueso.

### 1.1. Desecho óseo como producto del faenamiento de ganado bovino

En la comunidad de Alambi en la parroquia de Nono se tiene una producción de carne de Ganado bovino en una cantidad moderada, en lo referente al año 2015 se evidencia el faenamiento mensual en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Unidades de ganado bovino faenado en la parroquia Nono 2015.

<i>Año 2015</i>	<i>Total de unidades faenadas</i>
Enero	42
Febrero	57
Marzo	43
Abril	37
Mayo	32
Junio	65
Julio	54
Agosto	45
Septiembre	53
Octubre	53
Noviembre	56
Diciembre	40

**Nota:** Faenamiento de ganado mensual en el camal de la parroquia de Nono 2015.

**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

En lo correspondiente a la producción del año 2016, es necesario revisar que existe un incremento como se muestra en la Tabla 2.

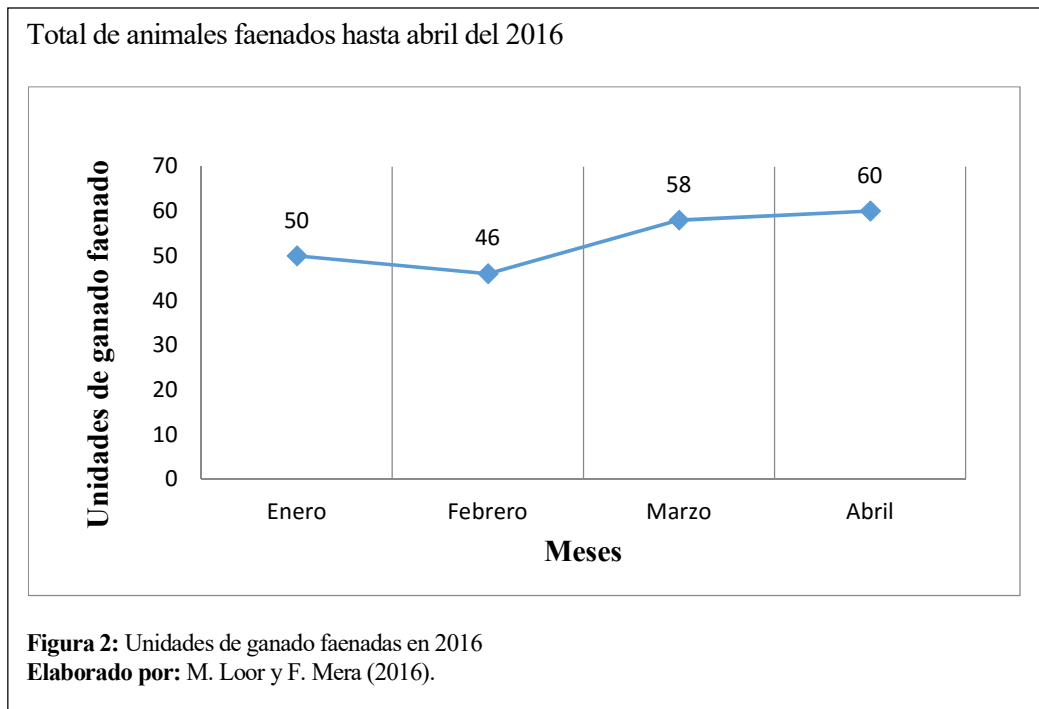
**Tabla 2.** Unidades de ganado bovino faenado en la parroquia Nono 2016.

<i>Año 2016</i>	<i>Total de unidades faenadas</i>
Enero	50
Febrero	46
Marzo	58
Abril	60

**Nota:** Faenamamiento de ganado mensual en el camal de la parroquia de Nono 2016.

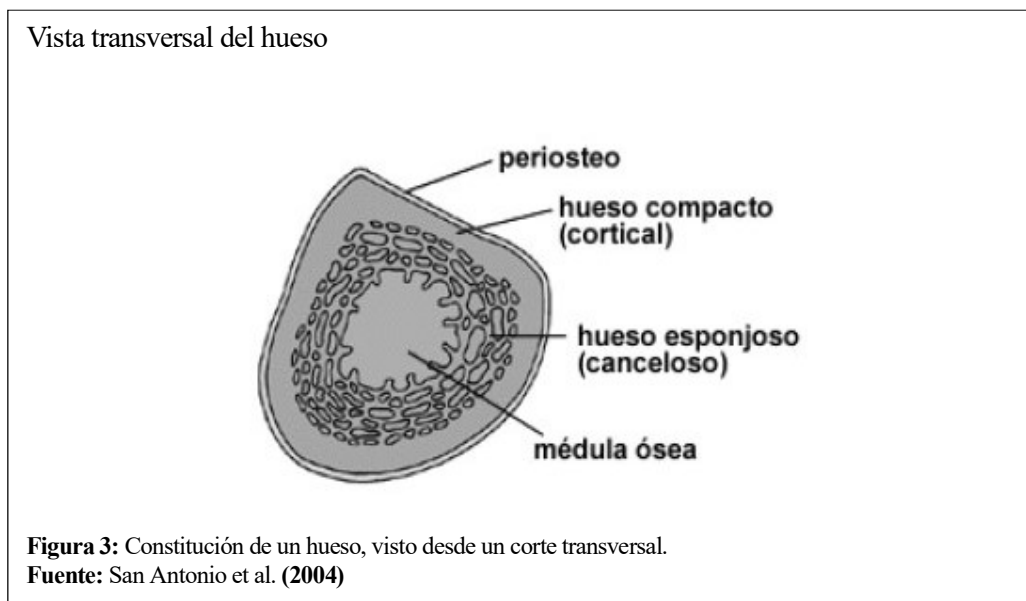
**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

La Figura 2 muestra la disposición mensual del faenamamiento de animales en la parroquia y se puede evidenciar el incremento de la producción cárnica.



## 1.2. Propiedades del material óseo.

El hueso está formado por una matriz orgánica compuesta principalmente por colágeno y una matriz inorgánica mineralizada (cristales del hidroxapatita y fosfato cálcico). Las fibras de colágeno que forman el hueso son el resultado de la unión mediante enlaces cruzados de una triple hélice de cadenas de este material. Esta estructura le confiere al hueso su resistencia a la tracción en sentido longitudinal y es responsable en gran parte de la elasticidad del mismo. (Caerio, González, & Guede, 2013, pág. 100)



El material óseo se encuentra principalmente dividido en dos partes, la primera corresponde al tejido compacto o cortical y la parte interna conocida como tejido esponjoso, trabecular o canceloso los cuales se puede apreciar de mejor manera realizando un corte transversal al hueso. Estos tipos de tejido difieren en su densidad volumétrica ya que químicamente son iguales. (San Antonio, Corvo, Chirinos, & Gubaira, 2004, pág. 20).

El material óseo bovino es muy parecido al material óseo del ser humano, debido a esto se ha realizado diferentes estudios e injertos médicos desde los años 50. (Lopez, Echavarría, Suarez, & Natalia). Incluso en la actualidad la estructura macroscópica del hueso bovino se utiliza como referente en distintos estudios y aplicaciones.

### **1.3. Biomecánica del hueso**

Las propiedades mecánicas y biomecánicas que se pueden obtener para la realización de ensayos del material óseo son entre otras:

Ensayos para medir resistencia a los esfuerzos, como ensayos de compresión, de torsión, tracción y de flexión, ensayo de dureza, para conocer las propiedades de la superficie. También existen técnicas biomecánicas alternativas a los ensayos clásicos como el análisis cuantitativo por ultrasonido (QUS), y el análisis mediante elementos finitos (FEA), que estudian las características morfológicas de diferentes objetos.

En estudios posteriores se ha estimado que la cantidad ósea es responsable del 60% al 80% de la resistencia biomecánica del hueso, mientras que el 20% al 40% restante depende de la calidad ósea. Caerio et al. (2013).

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, provisto 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.” (pág. 115).

Debido a que la actividad humana influye en el ecosistema también se han presentado estudios relacionados a la incineración de hueso, “todos los tipos de incineradoras liberan

contaminantes a la atmósfera a través de los gases, cenizas y otros residuos. Entre la gran variedad de sustancias químicas que se emiten, se incluyen innumerables productos químicos”. (Michelle Allsopp, 2016).

#### **1.4. Uso de la harina de hueso.**

Autores como Falla sostienen que los residuos del faenamiento considerados desechos pueden ser reutilizados pero dependen de la legislación, aspectos técnicos y socio-económicos además de las características geográficas y técnicas bajo las que operan cada matadero. (Falla Cabrera, 1993, pág. 83). Considerando factores como:

- ✓ Espécimen de ganado para el faenado.
- ✓ Prácticas de utilización de los productos cárnicos.
- ✓ Métodos de mercantilización de la carne y derivados.
- ✓ Ejemplar de matadero y procesos de matanza.
- ✓ Inventivas de innovación industrial de los desechos de matadero.
- ✓ Legislación salubre. (Falla Cabrera, 1993, pág. 83).

Dentro del aprovechamiento de material óseo se tiene aplicaciones variadas, como:

Aplicaciones médicas: Se puede utilizar material óseo como injerto o sustituto en cirugías reconstructivas, prótesis e implantes realizados en animales y además en seres humanos. En el sector Agropecuario también se intenta aprovechar los restos de material óseo, producido por el faenamiento de varios tipos de ganado, los mismos se pueden aprovechar de diferentes maneras.

Aplicaciones agroquímicas: Orientadas a la producción de abonos y fertilizantes a base de harina de hueso.

Aplicaciones en la Acuicultura: La industria encargada en la reproducción de peces también ha utilizado productos derivados de restos óseos para la alimentación de peces.

Sin embargo se sostiene que el uso más importante se relaciona con la Agroquímica, ya que en la alimentación de rumiantes ha presentado varios conflictos. (Soma de Feré & Rochinotti, 2006, pág. 1).

### **1.5. Calcinado de hueso**

Fernández (2009) mantiene que: “Durante la cremación del hueso existe la contracción del mismo, por tanto, la cremación provoca la reducción en longitud y anchura del hueso”. (pág. 21).

Para los productos obtenidos de la calcinación del hueso existe una breve descripción en cuanto a la ceniza del mismo: “La ceniza de hueso es un polvo blanquecino con tonalidades grisáceas, que se acentúan cuando la combustión no ha sido completa por falta de oxígeno, lo que origina residuos carbonosos de color negro”. (Soma de Feré & Rochinotti, 2006, pág. 1).

### **1.6. Tipos de hornos incineradores**

El horno es un dispositivo o equipo industrial, que aprovecha la energía calorífica para llevar a cabo un proceso térmico, en el cual se necesita una temperatura mayor a la temperatura ambiente. (Astigarraga Urquiza, 1995).

La energía útil se obtiene directamente de un proceso de combustión, radiación o de manera indirecta mediante la electricidad.

Las aplicaciones de este dispositivo son varias como por ejemplo:

- ✓ Cocción y secado de diferentes productos alimenticios.
- ✓ Endurecimiento de arcillas y cementos.

- ✓ Procesos crematorios o calcinados.
- ✓ Procesos de fundición de minerales y materiales.
- ✓ Tratamientos térmicos metalúrgicos.
- ✓ Proceso de revenido.

A su vez se pueden implementar con la finalidad de relacionarse con la quema desperdicios o residuos sean estos orgánicos o inorgánicos tanto sólidos como líquidos de diferentes tipos como:

- ✓ Hospitalarios.
- ✓ Tóxicos.
- ✓ Patológicos.
- ✓ Industriales.

Para documentar el proceso de calcinación se ha recurrido a fuentes bibliográficas, artículos científicos e información de distintas bibliotecas virtuales como la Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (BVSDE), el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y un programa llamado Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales (EELA) quienes hacen pública la información mediante portales en línea.

Cabe recalcar que los incineradores no son simples “quemadores de desechos” al contrario estos se destacan por la utilización de tecnología complementaria de los programas de reducción, segregación en la fuente, el reciclaje y la degradación biológica de los desechos para la obtención de abono orgánico compuesto. (Garcia, 2016, pág. 178)

La función del horno es vaporizar, gasificar y pirolizar los residuos, provocando la combustión de los mismos. El horno debe garantizar una temperatura superior a 850

grados Celsius ( $^{\circ}C$ ), así como proporcionar un tiempo de residencia de los sólidos suficiente para evitar inquemados. (Alonso, 2009, pág. 9).

Dentro de los tipos más comunes se tiene:

- ✓ Horno de Parrilla.
- ✓ Hornos de Lecho Fluidizado.
- ✓ Hornos Rotatorios.
- ✓ Horno de Inyección Líquida.
- ✓ Hornos Hoffman.
- ✓ Horno de Gas.
- ✓ Horno de Túnel.
- ✓ Horno de Mufla.
- ✓ Horno de Cámaras.
- ✓ Horno Eléctrico. (Corantioquia, 2016, pág. 5)

#### **1.6.1. Horno de Parrilla.**

La función primaria de la parrilla es trasladar el residuo a través del horno. Dicho tendencia beneficia la deflagración de residuos, aunque asimismo acrecienta el contenido de partículas en el flujo gaseoso de evasiva en dicho horno. (Corantioquia, 2016, pág. 3)

El movimiento de la carga sobre la superficie de la parrilla se logra por efecto de la gravedad (planos inclinados) o bien por diversos mecanismos que obligan a la carga a desplazarse, como los rodillos o las parrillas móviles. (BVSDE, 2015, pág. 7).



## **Residuos**

- ✓ Residuos o despojos provenientes de los municipales combinados, residuos de principio comercial e industrial, lodos de alcantarillado (adelantadamente secados), residuos “todo uno” y sin disociación antepuesta.
- ✓ Conveniente para residuos grandes e anormales.
- ✓ Algunos ejemplares de residuos delicados y hospitalarios.
- ✓ Residuos de principio vegetal.
- ✓ Posibilidad de incineración de gases. (Alonso, 2009, pág. 15).

## **Características**

- ✓ Los armazones son metálicos, refrigeradas mediante aire o agua, con una tendencia próxima a  $25^{\circ}C$ .
- ✓ Se introduce aire por el fragmento inferior, en una desproporción cercana a 100%.
- ✓ La velocidad del aire es elevada, se origina acarreo de partículas.
- ✓ El período de residencia del compacto combustible es invariable.
- ✓ El costo de mantenimiento es elevado. (Corantioquia, 2016, pág. 3).

## **Ventajas**

- ✓ El horno es capaz de admitir todo tipo de carga sin necesidad de un tratamiento previo.
- ✓ La inversión para este tipo de horno es relativamente baja.
- ✓ Este tipo de horno es más conocido ya que se utilizan en el tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), por su versatilidad y la capacidad de tratamiento.

## **Desventajas**

- ✓ Las parrillas propician la aparición de restos carbonosos (coque y compuestos orgánicos no quemados) en las escorias.
- ✓ Las parrillas, sobre todo las móviles, pueden ocasionar problemas mecánicos o bien necesitar un frecuente mantenimiento.
- ✓ Existen con frecuencia puntos calientes en las parrillas que ocasionan daños y diferencias de temperaturas que afectan a la calidad de la gasificación.
- ✓ El tiempo de retención de sólidos es una constante. (BVSDE, 2015, pág. 9).

### **1.6.2. Horno Lecho Fluidizado.**

En este método, el horno está dispuesto verticalmente, siendo tubulares revestidos de refractarios y con una altura cerca de 15 metros (*m*). Estos quemaderos poseen un lecho de arena, alúmina o carbonato de calcio. (Corantioquia, 2016, pág. 4)

Los vapores de combustión se combinan con el líquido de desecho en pequeñas gotas (rocío), sustentado por una corriente de aire. Si se mezcla con sólidos inactivos, por ejemplo arena de río, estarán más o menos suspendidos y permiten una inflamación regenerada. (Gobierno de Costa Rica, 1992)

Este tipo de incinerador se aplica para líquidos, sólidos que poseen bajo punto de fusión incluyendo los lodos, se encuentra delimitado en cuanto a los sólidos que tienen alto punto de fusión.

## **Residuos**

- ✓ Restos finamente divididos.
- ✓ Fangos de alcantarillado, lodos, carbón, lignito y biomasa.
- ✓ Permite la combustión de combustibles de bajo Poder Calorífico Inferior (PCI).

- ✓ Combustible Derivado de Residuos (CDR). (Alonso, 2009, pág. 19).

### **Características**

- ✓ Función de un turbión para el recorrido del material inactivo (arena o alúmina).
- ✓ Temperatura en la franja libre sobre el lecho:  $850 - 950^{\circ}C$ . Alto grado de semejanza de destemplanzas. Alto ajuste de transferencia de calor.
- ✓ Temple en la línea posterior a la combustión:  $980 - 1400^{\circ}C$ .
- ✓ Período de residencia: inclusive 2,5 segundos (s).
- ✓ Introducción de aire primario por el segmento inferior del lecho.
- ✓ Entrada de aire secundario el cual se encuentra precalentado.
- ✓ El residuo sólido y la alúmina o arena recirculadas, se encajan por la parte superior del lecho. (Corantioquia, 2016, pág. 4).

### **Ventajas**

- ✓ Demanda una menor abundancia de aire permitiendo que el rendimiento de la inflamación será mayor.
- ✓ Consigue trabajar a temperaturas minúsculas con lo que se impide la fusión parcial de los desechos menores del combustible en la cavidad del lecho.
- ✓ No posee fracciones móviles en el sistema, con lo que el mantenimiento llega a ser mucho más imperceptible.
- ✓ Al funcionar a pequeñas temperaturas, la generación  $NO_x$  (óxidos de nitrógeno) es más restringida, casi nula.
- ✓ La infraestructura es más compacta.
- ✓ Gracias a la gran inercia térmica del lecho concede magnos cambios en el caudal de despojos o en su poder calorífico. (BVSDE, 2015, pág. 11).

## **Desventajas**

- ✓ Necesidad de una trituración previa de los residuos para un Lecho Fluidizado Circulante (LFC) es de 80 milímetros (*mm*) y 300 *mm* para el Lecho Fluidizado Burbujeante (LFB).
- ✓ Para el caso del LFC, se debe garantizar que no existan diferencias en la granulometría.
- ✓ La temperatura de trabajo está restringida por la temperatura de fusión de los elementos inertes del residuo.
- ✓ La recirculación de los residuos o restos induce una abrasión que afecta directamente a los refractarios por medio de la corrosión.
- ✓ Riesgo a la formación de trozos angulares. (Alonso, 2009, pág. 25)

### **1.6.3. Hornos Rotatorios.**

Este tipo de horno se presenta en forma de un cilindro metálico revestido dentro con ladrillo refractario, su rotación facilita períodos de residencia versátiles, de minutos a horas su temperatura llega hasta 1600<sup>o</sup>C. Son principalmente prácticos cuando el tamaño y naturaleza de los desechos no se puede aplicar en los otros tipos de horno, si se suministran con quemadores de boquillas, se aprovechar además para sólidos, líquidos y vapores orgánicos. El horno consta con una entrada la cual es destinada específicamente para la alimentación de residuos y otra de combustión. (Gobierno de Costa Rica, 1992, pág. 179)

## **Residuos admitidos**

- ✓ Sustancias líquidas (disolventes) las cuales son inyectadas por encima de un quemador refrigerado por agua.
- ✓ Sustancias bombeables (lodos y pastas fluidas) son inyectadas desde el contenedor con una bomba de pistón a través de una válvula refrigerada en el extremo inicial.

- ✓ Pastas no fluidas que son vertidas en la tolva de alimentación una vez encapsuladas en recipientes cerrados. (Cuevas, 2016, pág. 7).

### **Características.**

- ✓ Cilindro recubierto con materiales aislantes y refractarios (capa interior).
- ✓ Avance del residuo por la inclinación y la velocidad de rotación.
- ✓ Tiempo de permanencia del residuo de 30 a 60 minutos (min) .
- ✓ Opera con temperaturas de 800 a 1000 °C . (Alonso, 2009, pág. 32)

### **Ventajas.**

- ✓ Excelente control químico y metalúrgico.
- ✓ Baja contaminación ambiental.
- ✓ Costos muy competitivos.
- ✓ Facilidad de operación.
- ✓ Mínimo mantenimiento.
- ✓ Ahorro de combustibles.
- ✓ Disminución en el tiempo de fusión.
- ✓ Baja oxidación de los principales elementos.
- ✓ Aumento en la temperatura de vaciado y colado.
- ✓ Fácil y rápida la carga de chatarra.
- ✓ Facilidad en medir la temperatura del hierro.
- ✓ Determinaciones químicas antes del vaciado. (García Vegas, 1998, pág. 41)

### **Desventajas.**

- ✓ Presentan peligro en la distribución estratégica de inyectores de grafito.
- ✓ Rango de revoluciones indicadas es de una vuelta por minuto.
- ✓ Dificultad en el proceso de recarburización. (García Vegas, 1998, pág. 42)

#### **1.6.4. Horno de Inyección Líquida**

Los hornos de inyección líquida se manipulan exclusivamente para líquidos bombeables. Presenta de cámaras de incineración se fundamenta en cilindros recubiertos con ladrillos refractarios, que pueden llegar ser verticales u horizontales y detallar con uno o más quemadores. El esquema de los quemadores resulta ser uno de los componentes más críticos para conseguir elevadas eficiencias de destrucción. Las temperaturas de manipulación en un horno de inyección líquida están en la jerarquía de 1000 a 1600<sup>o</sup>C y los intervalos de períodos de residencia son 1,5 y 2 segundos. (Corantioquia, 2016, pág. 6)

#### **Residuos**

- ✓ Restos líquidos que logran ser bombeados.
- ✓ Opera con despojos con escasa viscosidad.
- ✓ Despreciable potencial de polimerización.
- ✓ Libres de material en suspensión que atranque las boquillas.
- ✓ Pequeña corrosividad. (Alonso, 2009, pág. 35)

#### **Características**

- ✓ Tambores horizontales o verticales.
- ✓ Muros revestidos de refractarios.
- ✓ Provistos con uno o más quemadores.
- ✓ Necesidad de carburante complementario.
- ✓ Proporcionado con atomizadores de diámetro ascendentes a 2 micrómetros ( $\mu m$ ).
- ✓ Adquieren presión mecánica.
- ✓ Atomización con vapor/aire comprimido.
- ✓ Atomización externa.
- ✓ Temperatura de trabajo entre: 1000-1700<sup>o</sup>C.

- ✓ Tiempo de residencia: hasta 2,5 segundos. (Corantioquia, 2016, pág. 6)

### **Ventajas**

- ✓ Posee escasa corrosividad en el proceso de incineración con respecto a los demás hornos.
- ✓ Consta de uno o más quemadores que facilitan su desempeño.
- ✓ No existe material en suspensión que obstruya las boquillas.
- ✓ Manifiesta mayor desempeño en el proceso de incineración de residuos líquidos orgánicos.

### **Desventajas**

- ✓ Se utilizan exclusivamente para líquidos bombeables.
- ✓ Lograr elevadas eficiencias mediante el diseño de los quemadores.
- ✓ Los líquidos manejados deben poseer poca viscosidad.
- ✓ Necesita de combustible auxiliar cuando ostenta dos o más quemadores.

#### **1.6.5. Hornos Hoffman**

Fue diseñado por el Ingeniero alemán Friedrich Hoffman en el año 1958, en base a la idea pionera del flujo del calor en relación a la carga, permitiendo el precalentamiento de la carga fría en la cámara posterior mediante el calor de los gases de extracción de la cámara anterior del horno, lo que trajo una considerable ventaja de reducción en el requerimiento de combustible. (EELA, 2015, pág. 31)

Se encuentran, utilizado en la cocción de materiales cerámicos, principalmente bizcochados, ladrillos, tejas y baldosas, aunque asimismo se destinó a los vidriados, azulejos y otros materiales de construcción como la cal suele gastar entre 50 y 70 % menos que un horno convencional. (Arqueología Industrial, 2015, pág. 1)

### **Características**

- ✓ Productos: ladrillos y baldosas.
- ✓ Ciclo completo de quema aproximado de tres días.
- ✓ Tiempo de quema aproximado: 6 horas por cámara.
- ✓ Consumo específico de leña: 0,6 a 0,8 toneladas/millar trabajando con piezas promedio de 2,2 kilogramos (*kg*).
- ✓ Consumo específico de energía térmica: 418 a 637 kilocalorías (Kcal)/kg.
- ✓ Eficiencia térmica promedio: 50%. (EELA, 2015, pág. 35)

### **Ventajas**

- ✓ Productos de primera por encima de 90%.
- ✓ Permite la regulación de la velocidad de la quema.
- ✓ Se adapta a diferentes tipos de materia prima.
- ✓ Bajo índice de pérdidas y de material de segunda calidad.
- ✓ Buen desempeño energético.
- ✓ Baja demanda de energía térmica.
- ✓ Recuperación de calor.
- ✓ Uso de diversos tipos de combustible. (EELA, 2015, págs. 35-36)

### **Desventajas**

- ✓ Construcción cara.
- ✓ Operación más compleja que en otros tipos de hornos (operación permanente de control de presión del horno, el ritmo de avance de calor entre cámaras).
- ✓ Elevado insumo de mano de obra.
- ✓ Producción sólo de ladrillos.
- ✓ Requiere excesiva manipulación del producto.



- ✓ Requema en la solera y falta de quema en la bóveda.
- ✓ Escape en los canales y manchas laterales en los productos causadas por la falta de aire en la quema. (EELA, 2015, pág. 36)

### **1.6.6. Horno de Gas**

La práctica e ingenio cada vez más vanguardista, ha reconocido adjudicar a los hornos de gas un papel perceptible en el rutina y posibilidades que nos brinda su uso, mostrándose muy eficaz por su destreza en la conducción además porque los lapsos de cocción se ven minúsculos, asimismo se oprimen sus expendios. De acuerdo al mando hay que incidir que resulta posible regular la atmósfera interior del horno, sencillamente alterando la introducción de gas y aire mezclado, útiles para hacer reajustes. (Romero, 2005, pág. 1)

#### **Características**

- ✓ Temperatura máxima: 1300°C .
- ✓ Recubrimiento de ladrillo aislante.
- ✓ Quemadores atmosféricos con regulador de aire de combustión.
- ✓ Quemadores poseen válvula de cierre manual.
- ✓ Elevación y desplazamiento de la puerta mediante pedal.
- ✓ Incorporan un regulador de presión con manómetro para controlar la potencia del horno. (Ramirez de Aguilar, 1986, pág. 3)

#### **Ventajas**

- ✓ Reducción de tiempo dedicado a alcanzar la temperatura de trabajo.
- ✓ Se puede alcanzar altas temperaturas en menor tiempo.
- ✓ Posibilidad de ajustar la atmósfera interior del horno.
- ✓ Cómoda regulación de la mezcla de gas y aire.
- ✓ El costo del gas es inferior al de la electricidad. (IDAE, 1993, pág. 37)

## **Desventajas**

- ✓ Emanación de gases nocivos para la salud producto de la combustión.
- ✓ Existen grandes riesgos de explosión por fugas del gas cuando no se encuentra supervisado.
- ✓ La botella de gas tiene que encontrarse debidamente aislada del horno.
- ✓ El horno debe encontrarse de preferencia en habitaciones con ventilación.
- ✓ Poco amigable con medio ambiente. (IDAE, 1993, pág. 40)

### **1.6.7. Horno de Túnel**

SARACCO (2009) explica que el horno túnel representa la mejor solución en cuanto al tiempo de cocción y a la racionalización del ciclo de producción.

Son hornos continuos, de bajo nivel de contaminación, en donde el material se moviliza mediante vagones que se desplazan a través de la galería. La concepción de este horno responde a la idea de fijar una zona de fuego y hacer pasar los productos a cocer, siguiendo la curva de calentamiento del horno. La económica mano de obra en el cargue, descargue de los ladrillos seguido de una mayor rapidez en la etapa de cocción con respecto a los otros hornos. (EELA, 2011, pág. 7)

## **Características**

- ✓ Número de quemadores u hornillas (en el caso de combustibles sólidos): 6 a 12 quemadores (generalmente a los dos lados).
- ✓ Procesamiento de productos como: tejas, ladrillos y baldosas.
- ✓ Eficiencia térmica promedio: 66%. (EELA, 2015, págs. 48-49)
- ✓ Buen aislamiento y baja inercia térmica.
- ✓ Flexibilidad para poder conformar curvas de cocción.
- ✓ Ingeniería de concepción y de detalle simple.

- ✓ Bajo costo de construcción. (Topolevsky, Gaston, & Echeverría, 1986, pág. 2)

### **Ventajas**

- ✓ Reducción drástica en la demanda de energía térmica y de emisión de carbono.
- ✓ Puede usar varios tipos de combustible.
- ✓ Posibilidad total de recuperación de calor.
- ✓ Menor insumo de mano de obra.
- ✓ Mejores condiciones de salubridad en el ambiente de la producción.
- ✓ Mayor productividad.
- ✓ Quema homogénea.
- ✓ Menor manipulación del producto (menos pérdidas).
- ✓ Procesamiento de todo tipo de productos (ladrillos, baldosas y tejas).
- ✓ Mayor velocidad de producción. (EELA, 2015, págs. 48-49)

### **Desventajas**

- ✓ Operación continua (no puede parar),
- ✓ Requiere del producto seco para quemar.
- ✓ Necesita precisión en la obra de montaje.
- ✓ Demanda personal bien capacitado para una operación con ajustes finos.
- ✓ Exige cuidados para el mantenimiento con el sistema de comando electrónico de la quema.
- ✓ Solicita cuidado con los impactos en el revestimiento interno de la fibra cerámica.
- ✓ Mayor dificultad ante eventuales paradas de producción.
- ✓ Inversión elevada. (EELA, 2015, págs. 48-49)

### **1.6.8. Horno de Mufla**

Una mufla, en contexto se trata de una cámara cerrada montada con material refractario, su fabricación es limitadamente sencilla empleándose todo tipo de combustibles. Consta de un portón por donde se accede al interior de la cámara de cocción, en la que existe una diminuta perforación de observación, en el techado se coloca un agujero por donde emergen los gases de la cámara. Los muros de la misma están formados de un material granular obtenido de la pulverización de los ladrillos, planchas de carborundo y/o manta de material aislante, estos incineradores pueden emplearse en la cocción de arcilla, mayólica, para el cocido de pinturas arriba del barniz en la cerámica. (Mingot, 1987, pág. 15).

#### **Características**

Astigarraga Urquiza (1999) propone las siguientes características para un horno de mufla:

- ✓ Una caja o envolvente metálica.
- ✓ La puerta con su mecanismo de accionamiento por guillotina.
- ✓ La cámara o mufla propiamente dicha del horno, en la que se dispone las resistencias de calentamiento.
- ✓ Las paredes laterales constan de materiales aislantes a base de ladrillo, masas o fibras cerámicas.
- ✓ La solera del horno que puede ser cerámica o metálica.
- ✓ Soporta temperaturas de hasta 1300 °C .

#### **Ventajas**

- ✓ Calentamiento de dos lados mediante elementos calefactores en los tubos de vidrio cuarzoso.
- ✓ Fácil sustitución de los elementos calefactores y aislamiento.
- ✓ Pueden operar en atmósfera controlada.

- ✓ La cámara de cocción está construida con refractarios aislantes de muy baja densidad.
- ✓ Posee fibras cerámicas de gran estabilidad. (MAINCER, 2010)

### **Desventajas**

- ✓ Estos hornos son utilizados para operaciones sencillas.
- ✓ De trabajo a mano. (Universidad Autonoma de Nuevo Leon, 1990, pág. 1)

### **1.6.9. Horno de Cámaras**

Los hornos de cámara alcanzan a tener diferentes representaciones, redondos o cuadrados, y usar las iniciaciones de flama ascendente o de flama transformable. Los que usan el principio de flama ascendente no obtienen un caldeo homogéneo, debido a esto es más práctico usar hornos de flama reversible que distribuyen de carácter más similar el calor alcanzando, mismos que se emplean, en técnicas de cocido. (Diaz, 2009, pág. 32).

### **Características**

- ✓ Eficiencia térmica promedio de 54 % .
- ✓ Tiempo de quema: 15 a 18 horas, dependiendo del tipo de arcilla y de leña empleada para realizar la quema.
- ✓ Para productos como: tejas, ladrillos y baldosas. (EELA, 2015, págs. 41-42)

### **Ventajas**

- ✓ Posee un bajo consumo de energía térmica y de emisión de Gas de Efecto Invernadero (GEI).
- ✓ Flexibilidad de producción, ya que son lotes de cerca de 30 mil piezas.
- ✓ Posibilidad de quema de varios tipos de leña (pedazos, astillas y aserrín).
- ✓ Posibilidad de recuperación de calor para el secado.

- ✓ Condiciones razonables de salubridad en el ambiente de producción (principalmente durante la quema).
- ✓ Buena productividad y velocidad de producción.
- ✓ Quema homogénea y bajo nivel de pérdidas por quiebre y rajaduras.
- ✓ Bajo costo operativo. (EELA, 2015, pág. 42)

### **Desventajas**

- ✓ Costo de inversión relativamente elevado.
- ✓ Operación un poco más compleja. (EELA, 2015, pág. 42)

### **1.6.10. Horno Eléctrico**

Son hornos en los cuales el calor se produce por medio de la corriente eléctrica, debido a la resistencia que oponen al paso de la misma, los materiales que en ellos se encuentran, tanto así son las mismas sustancias que deban transformarse, como si se trata de otras independientes de ellas; el calor producido puede aprovecharse directa o indirectamente, es decir, en el interior del horno o desde la superficie del mismo. (Universidad Autónoma de Nuevo Leon, 1990, pág. 2)

### **Características**

- ✓ Estacionario.
- ✓ Medidas de la cámara útil de trabajo permiten obtener equipos de múltiples dimensiones.
- ✓ Coraza exterior en plancha de acero negro A36 en 2 mm de espesor.
- ✓ Recubrimiento interior con ladrillo aislante para colocación de las resistencias, quedando una pared total de aislamiento de gran espesor.
- ✓ Fuente de calentamiento eléctrico con 4000 watts ( $W$ ), 220 voltios ( $v$ ) monofásico.

- ✓ Temperatura máxima de trabajo 1260 °C .
- ✓ Sistema de automatización con pirómetro electrónico digital hasta 1300°C .
- ✓ Termocupla integrada tipo K.

### **Ventajas**

- ✓ Ausencia de humos de combustión.
- ✓ No hay contaminación de la carga, puesto que no existen combustibles o productos de combustión.
- ✓ Se puede trabajar con cualquier tipo de escoria.
- ✓ Pueden fácilmente eliminarse o añadirse constituyentes a la carga.
- ✓ Obtención rápida de altas temperaturas, que además pueden variarse en cualquier punto del proceso, sostenerse por el tiempo necesario y aún controlarse automáticamente.
- ✓ Facilita la condición laboral y ambiental.
- ✓ No es necesaria la supervisión continua ya que no existe ningún tipo de riesgo de combustión externa del horno.
- ✓ Utiliza fibras cerámicas como aislador de temperatura.
- ✓ Facilidad de manejo.
- ✓ Mayor seguridad del personal. (Universidad de Oviedo, 2009, pág. 4)

### **Desventajas**

- ✓ Costo de energía eléctrica.
- ✓ Netamente afectado por los apagones.
- ✓ Son más costosos con respecto a los hornos de combustión.

## **1.7. Selección de alternativas:**

A continuación se presenta la selección de alternativas, se pretende encontrar la mejor opción de horno disponible, partiendo de un análisis de los parámetros que exige el proceso de calcinado de hueso, valores económicos y la factibilidad del uso del horno.

### **1.7.1 Identificación de las necesidades.**

Para suplir con las necesidades del proceso de toma en cuenta lo siguiente:

**Automatización y control.-** Debido a que se pretende realizar un proceso industrializado, es necesario que exista un control apropiado de las variables involucradas en el proceso como la temperatura y el tiempo.

**Seguridad.-** El proceso de calcinado de hueso, se lleva a cabo en temperaturas superiores a la temperatura ambiente, por lo cual se necesita un horno con aislamiento apropiado, que garantice la seguridad del operario del mismo.

**Eficiencia.-** Para obtener un calcinado uniforme, se requiere que el horno tenga una cámara de calor con mínimas o inexistentes zonas frías, es decir una cámara que aproveche la mayor energía calorífica suministrada. Es necesario que no sea un equipo contaminante.

**Economía.-** El proceso debe realizarse en un horno que no exija altos costos de adquisición o de mantenimiento. Además es necesario que no se generen residuos que deban ser tratados posteriormente.

**Ergonomía.-** El horno debe tener una constitución rígida y con un mecanismo que permita la apertura de la cámara sin generar riesgo para el operario.



### 1.7.2. Selección de la alternativa y solución:

Dentro de la valoración se ha otorgado una calificación de 10 puntos a cada necesidad identificada, siendo el porcentaje óptimo el valor de 10 puntos y la opción menos favorable con el valor de 0 puntos, tomando en cuenta los rangos de calificación.

Muy buena: 10-9

Buena: 8-7

Regular: 6-5

Deficiente: 4-0

La mejor opción se determinará de manera porcentual sobre el total de 50 puntos.

**Tabla 3.** 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%
<b>Horno Eléctrico</b>	9	8	9	9	9	<b>88%</b>

**Nota:** Ponderación realizada a los diferentes tipos de hornos inmersos en la industria.

**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

La ponderación ubica al horno eléctrico como la alternativa más adecuada para realizar los ensayos de calcinado de hueso, además de ser el menos contaminante de todos los hornos previamente mencionados en la Tabla 3.

## **1.8. Metodología.**

El presente trabajo se desarrollará apoyado en la metodología científica, la misma ha sido seleccionada ya que su orientación es la más adecuada para este proyecto, tal como la describe la investigación científica y tecnológica de diferentes estudios, “Este método tiene una cierta semejanza con el empleado en la investigación teórica pero se diferencia en que no tiene por objeto el plantear grandes teorías globales, sino más bien el descubrir determinados comportamientos de los fenómenos naturales, para conocer sus tendencias o leyes, a fin de mejorar el conocimiento de los mismos, con el objeto de poder controlarlos. (Cegarra, 2004)”.

La metodología y los lineamientos que propone serán aplicados desde la formulación del problema, hasta la obtención de datos.

Por ello se procederá principalmente con trabajo de campo que permita recopilar la información necesaria sobre las cifras relacionadas con el faenamiento del ganado en la parroquia de Nono.

Se procederá con la selección de alternativas, basada en la literatura y tomando en cuenta los hornos disponibles en la industria, a fin de seleccionar una herramienta apropiada para el desarrollo del proceso de calcinado de hueso.

Para pleno uso de la metodología científica, se realizarán los ensayos de laboratorio de compresión, y se examinarán el aspecto físico, lo mismo que permitirá aumentar la información disponible sobre las características del producto, en diferentes condiciones de las que se recibe al ser eliminado de la faena.

De igual manera se tomará muestras de diferentes lotes de faenamiento para procesar datos e identificar los valores de las propiedades citadas anteriormente.

El proceso de calcinación de hueso será supervisado y sometido a variaciones, en función de las variables físicas como tiempo ( $t$ ) y temperatura ( $T$ ) que pueden ser manipuladas en un entorno común.

Los datos obtenidos, serán ingresados a un Software que permita filtrar y obtener estadísticas de los resultados importantes, se presentara gráficos de los datos disponibles y de los valores que tomen las propiedades estudiadas al someterse a los diferentes procesos. El subproducto de los ensayos será entregado como aporte, sentando un precedente para que se genere mayor investigación, como un aporte tangible adicional a la información generada.

## **2. CAPÍTULO 2: ESTUDIO Y ENSAYOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL HUESO.**

### **2.1. Información del Sector**

La parroquia de Nono, se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha aproximadamente 35 kilómetros ( *km* ) de la ciudad de Quito. Alrededor del 40% del territorio de Nono está ocupada por haciendas. Los asentamientos tienen tendencias a crecer y consolidarse de manera desordenada, tanto en la cabecera parroquial como en los asentamientos periféricos, los espacios vacantes son mayores. (Sistema Nacional de Información, 2015, pág. 13).

La parroquia de Nono, se encuentra ubicada en una zona denominada “Boca de Montaña” donde existen fuertes vientos que vienen en dirección oriente-occidente. La temperatura media es de 14 a 15 grados Celsius, y la mínima es de 7 a 8 grados Celsius. Existen épocas lluviosas entre los meses de noviembre a mayo, en la actualidad no se puede señalar con precisión las estaciones puesto que no están bien definidas. (Sistema Nacional de Información, 2015, pág. 14).

#### **2.1.1. Razas de ganado bovino de principal producción y faenamiento en la parroquia de Nono.**

HOLSTEIN Frisona (Holstein Friesian, Holando Argentino – Holandesa)

Holstein es una raza originaria de Holanda, por sus características únicas de color, fortaleza y producción, la Holstein empezó a diferenciarse de las demás razas, y pronto comenzó a expandirse por otros países, empezando por Alemania. (MARKMONITOR, 2010, pág. 1)

Desde hace unos 300 años está consolidada en lugar de privilegio en el hatu mundial por su producción y su adaptación a diferentes climas, es una especie rustica con abundante

presencia en Europa e incluso Latinoamérica. (Vía Rural Agro y Construcción, 2007).

Holstein – Friesian



**Figura 4:** La raza bovina de leche.  
**Fuente:** Valerio (2008)

PARDO SUIZO (Swiss Brown)

Esta raza bovina es originaria de Suiza. La Pardo Suizo es una raza con gran desarrollo genético especializado en producir los mayores volúmenes de leche. Estos animales transmiten rusticidad en su cruce y reproducción, con lo que las explotaciones de doble propósito aumentan su eficiencia. (Vía Rural Agro y Construcción, 2007)

Pardo suizo.



**Figura 5:** Vaca de registro Pardo suizo tipo americano.  
**Fuente:** Chelsey (2013)

## ANGUS (Aberdeen Angus)

La raza Angus es autóctona de Escocia. Este tipo de ganado vacuno es rústico, de tamaño mediano, mocho y de pelajes negro y rojo. Algunas de sus características son su alta fertilidad, facilidad de parto, buena producción lechera, gran habilidad materna, resistencia a enfermedades, ganancia de peso y longevidad. (Vía Rural Agro y Construcción, 2007).

Aberdeen Angus.



**Figura 6:** Semental Aberdeen Angus.  
**Fuente:** Enciclopedia Bovina (2016)

Existe además una gran cantidad de ganado mestizo que se ha introducido a la zona desde otras provincias del país, motivo por el cual el faenamiento producido en los camales, se realiza bajo un control donde se registra únicamente el sexo, edad y una descripción general del individuo faenado.

Dentro de las preferencias para el faenamiento del ganado se tiene a los animales machos adultos como toros y bueyes, en el caso de las hembras es de preferencia que estas se mantengan vivas durante más tiempo con el objetivo de reproducción y la obtención de leche con sus derivados, hasta llegar al faenamiento cuando ya no es apta para la reproducción.

## 2.1.2. Clasificación del ganado bovino con respecto a las edades.

**Tabla 4.** Clasificación del ganado bovino en función de su edad

<i>Nombres</i>	<i>Edades (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Ternero	Hasta 9	Bovino macho o hembra, que se encuentra en período de lactancia, destetado entre los 7 a 9 meses.
Torete	7 a 12	Animal castrado antes de que haya adquirido las características de un toro maduro.
Novillo	12 a 42	Bovino macho joven, castrado en los primeros meses de vida antes de alcanzar la madurez sexual.
Vacona	12 a 36	Se considera vaca o vaquilla a toda hembra joven que nunca ha parido.
Vaca	36 en adelante	Hembra bovina adulta que ha tenido varios partos.
Toro	30 en adelante	Bovino macho que ha desarrollado las características físicas necesarias para fecundar.
Buey	Mayor de 53	Bovino macho castrado, no destinado a la reproducción sino al trabajo.

**Nota:** En las edades y descripciones del ganado bovino, se tomó información de dos fuentes bibliográficas.

**Fuente:** Avances en Ciencias Veterinarias (2006), Universidad de las Americas Puebla (2015)

## 2.2. Selección del hueso y ensayos.

El presente trabajo tomará en cuenta las referencias y consideraciones de autores como (Jiménez, Bustamante, & Sánchez, 2013) en su estudio sobre la desmineralización de huesos y Caerio et al. (2013) en la evaluación de la biomecánica del tejido óseo. Se acepta los antecedentes que definen al hueso entero y el subtipo del hueso cortical como el de mayor nivel en la estructura para determinar sus propiedades.

El hueso entero del animal faenado, puede presentar mayor o menor cantidad de hueso cortical, esto depende principalmente de la edad del mismo.

Generalmente se considera al hueso entero como el mayor nivel, pero el porcentaje de hueso cortical representa la mayor importancia de su composición.

**Tabla 5.** Niveles jerárquicos del hueso según varios autores.

<i>Nivel jerárquico</i>	<i>Componentes principales</i>
Macroestructura	Hueso cortical y trabecular
Microestructura	Osteonas y trabéculas individuales
Submicroestructura	Láminas
Nanoestructura	Colágeno fibrilar y componentes minerales
Subnanoestructura	Estructura molecular de distintos elementos
Nivel 7	Hueso entero
Nivel 6	Hueso cortical y trabecular
Nivel 5	Osteonas
Nivel 4	Patrones de las fibras
Nivel 3	Fibras de colágeno
Nivel 2	Fibrillas de colágeno y minerales
Nivel 1	Moléculas
Nivel hueso entero	Hueso entero o representativo de ambos subtipos
Nivel arquitectural	Hueso cortical o trabecular
Nivel tisular	Trabéculas y osteonas individuales
Nivel laminar	Láminas
Nivel ultraestructural	Componentes minerales y moleculares
Macroestructura	Hueso entero o representativo de ambos subtipos
Arquitectura	Bloques de hueso cortical y trabecular
Microestructura	Trabéculas y osteonas individuales
Submicroestructura	Láminas, fibras grandes de colágeno
Ultra o nanoestructura	Fibrillas y moléculas de colágeno, componentes minerales

**Nota:** Jerárquico de la estructura del hueso

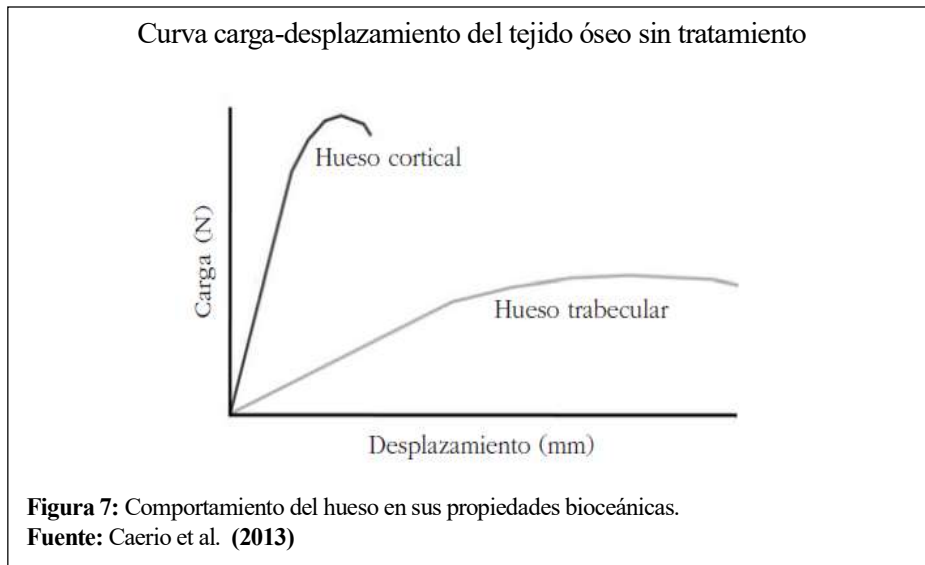
**Fuente:** Caerio et al. (2013)

### 2.3. Procedimiento

Los ensayos fueron realizados seleccionando el fémur de ganado bovino debido a que este hueso es considerado el hueso más fuerte del animal posterior a ser segmentado, el hueso entero es sometido a altas temperaturas y consecutivamente a un ensayo de compresión, la caracterización del hueso en sus diferentes niveles de estructura, permiten identificar el comportamiento del mismo al aplicar una carga.



La Figura 7 muestra que existe una diferencia entre el comportamiento del material óseo, de diferente estructura aunque conserven la misma composición:

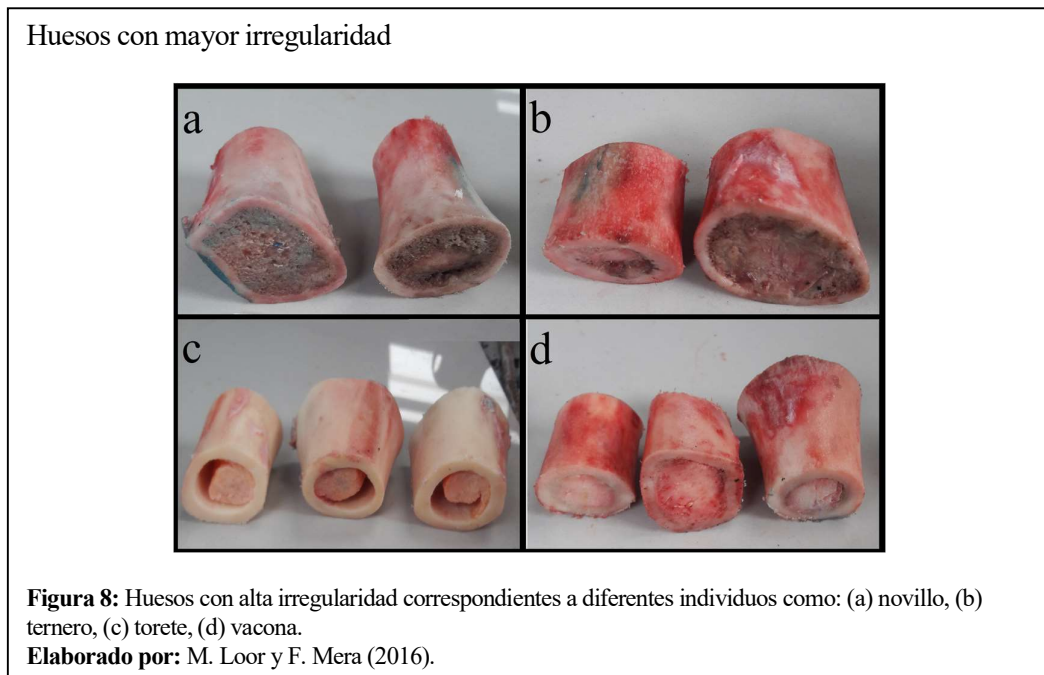


### 2.3.1. Segmentación del hueso entero.

Previo al proceso de calcinado, el hueso bovino es segmentado, el corte transversal se realiza en todas las muestras, por otra parte en un grupo específico de muestras se procede con la extracción de la médula permitiendo eliminar el hueso trabecular y finalmente mediante el mecanizado se obtiene un cuerpo representativo, el mismo corresponde a un sólido de hueso cortical, que cumpla con las características representativas de un cilindro hueco, donde se identificaran las siguientes dimensiones: diámetro interno ( $\phi_i$ ), diámetro externo ( $\phi_e$ ) y altura ( $h$ ), todo esto con el fin de generar una probeta útil.

Los huesos femorales enteros, presentan una gran irregularidad en el área de la sección transversal ( $A$ ), una coloración rojiza, gran proporción de médula ósea y no son aptas para la obtención de cilindros mediante el mecanizado, estas corresponden al ganado bovino joven como terneros, novillos, toretes y vaconas.

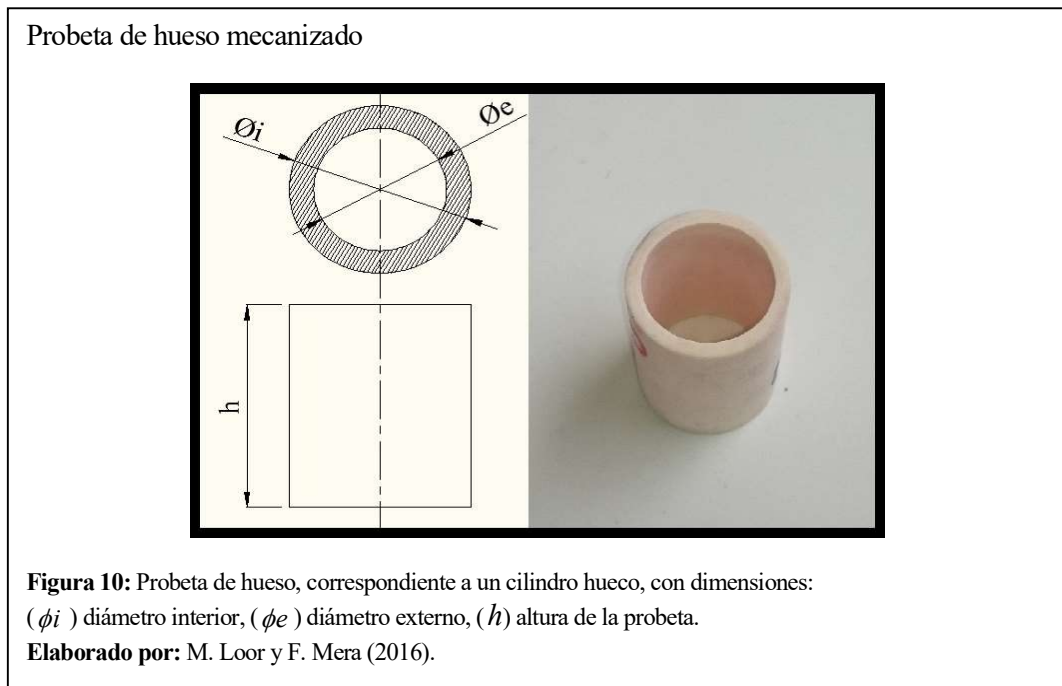
A continuación la Figura 8 muestra las secciones transversales.



Por otra parte las muestras con mayor regularidad que pudieron ser mecanizadas y con sección transversal más uniforme provienen de adultos bovinos como toros, bueyes y vacas.



Las probetas obtenidas son en constitución cortical, como muestra la Figura 10.



Una vez realizada la elaboración de los cilindros huecos se procede a identificar las muestras con sus concernientes dimensiones y pesos, esto permite tener una secuencia ordenada para posteriormente realizar los ensayos pertinentes y finalmente notar las modificaciones que sufren las probetas cuando son afectadas con temperatura.

Conjuntamente se clasificaron las muestras como: “Piloto” ( $P_n$ ), las mismas que fueron seleccionadas aleatoriamente de diferentes ejemplares bovinos, sin importar su edad.

Muestras irregulares ( $M_n$ ) correspondientes a terneras, novillos, toretes y vaconas.

Finalmente las muestras regulares ( $R_n$ ) corresponden al ganado adulto, las provenientes de vaca ( $R1, R2, R3, R4, R5$ ), provenientes del toro ( $R6, R7, R8, R9, R10$ ) y las probetas obtenidas de bueyes ( $R11, R12, R13, R14, R15$ ).

### 2.3.2. Calcinado de hueso.

El proceso de calcinación de hueso inicia con el ingreso de los segmentos de hueso entero al horno eléctrico previo precalentado a diferentes temperaturas y tiempos de exposición.



Las pruebas “piloto” permiten identificar los cambios producidos en el residuo óseo de los diferentes huesos segmentados, estos datos serán útiles para dimensionar equipos orientados a la fabricación de productos derivados del hueso calcinado. Se muestra a continuación la Tabla 6 con las observaciones del hueso calcinado a diferentes temperaturas, iniciando con una temperatura de  $200^{\circ}C$ , el tiempo de exposición al calor y las afectaciones que aparecen en estas muestras, como el cambio de coloración y las fracturas que se presentan en el producto.

En la Tabla 7 y la Tabla 8 se aprecia la diferencia existente de las características físicas, tales como el peso de la muestra, el peso inicial y final de cada probeta se registra en *kg* debido a que existe pérdida de la materia orgánica en la exposición al calor y esta resulta ser directamente proporcional al tiempo y temperatura de exposición, si estos son mayores mayor será la pérdida de materia orgánica.

**Tabla 6.** Observaciones de los residuos de hueso calcinado.

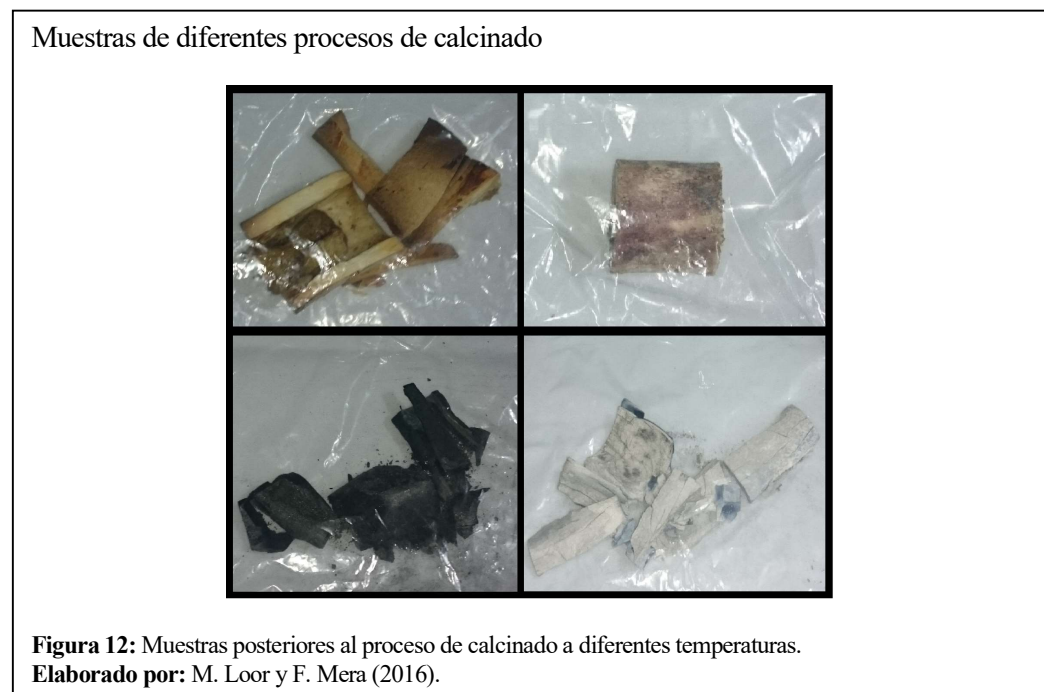
<i>Ensayos piloto</i>				
<i>Muestra</i>	<i>A</i>	<i>Temperatura</i> ( °C )	<i>Tiempo</i> ( min )	<i>Observaciones</i>
P1	Irregular	200	60	Parcialmente dorado,duro, sin fracturas
P2	Irregular	250	30	Totalmente dorado, duro, sin fracturas
P3	Irregular	250	60	Totalmente quemado, duro, con fracturas
P4	Irregular	300	60	Parcialmente oscuro, semiduro, con fracturas
P5	Irregular	300	540	Totalmente oscuro, semifragil, con fracturas
P6	Irregular	300	360	Parcialmente gris oscuro, semifrágil, con fracturas
P7	Irregular	300	30	Parcialmente negro, duro, presenta minimas fisuras
P8	Irregular	350	30	Totalmente oscuro, semiduro, con fracturas
P9	Irregular	400	30	Parcialmente oscuro,semiduro, con fracturas
P10	Irregular	400	60	Totalmente negro, duro, con fracturas
P11	Irregular	400	540	Parcialmente gris claro, frágil, con fracturas
P12	Irregular	400	120	Totalmente negro, semifrágil, con fracturas
P13	Irregular	500	30	Totalmente negro, semiduro, con fracturas
P14	Irregular	550	30	Totalmente gris oscuro, frágil, con fracturas
P15	Irregular	550	60	Parcialmente gris oscuro, semifrágil, con fracturas
P16	Irregular	550	120	Parcialmente gris, fragil, con fracturas
P17	Irregular	600	30	Parcialmente gris oscuro, semiduro, con fracturas
P18	Irregular	700	30	Parcialmente blanco, semifragil, con fracturas
P19	Irregular	700	60	Parcialmente blanco, frágil, con fracturas
P20	Irregular	700	120	Parcialmente blanco, frágil, con fracturas
P21	Irregular	800	30	Parcialmente blanco, fragil, con fracturas

**Nota:** Observaciones sobre los segmentos de hueso calcinado a temperaturas y tiempos de exposición al calor diferentes.

**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

### 2.3.3. Ensayo de compresión.

El ensayo de compresión se lleva a cabo con las probetas que se mantengan con una rigidez y dureza apropiadas para ser sometidas a una carga y que no se encuentren fracturadas al finalizar la calcinación, características que se puede encontrar en los ensayos realizados a temperaturas máximas de 300 °C con un tiempo de exposición al calor máximo de 30 minutos, seguido de estos valores de temperatura, se obtiene un producto calcinado con zonas duras, fracturas, coloración gris o negra. Finalmente a partir de los 700 °C, el producto de la calcinación comparte características en casi todas sus muestras como la fragilidad y la coloración en tono blanco o gris.



Las probetas que no presentan fracturas, permiten realizar el ensayo de compresión, utilizando una máquina, la cual ejerce una carga axial sobre los extremos de la probeta calcinada, la apreciación es de 0,001 Toneladas-fuerza (*Tnf*), permitiendo obtener valores de carga máxima y la resistencia del hueso calcinado a la compresión.

**Tabla 7.** Ensayo de compresión con probetas sin fracturas.

<i>Ensayo con probetas</i>							
<i>Muestra</i>	<i>Øi (mm)</i>	<i>Øe (mm)</i>	<i>h (mm)</i>	<i>A (mm<sup>2</sup>)</i>	<i>Peso inicial (kg)</i>	<i>Peso final (kg)</i>	<i>Carga (Tnf)</i>
R1	31,8	37,2	66,6	292,6	0,038	0,034	1,272
R2	35,8	42,0	71,6	378,8	0,054	0,048	1,269
R3	31,9	38,0	44,3	334,9	0,032	0,028	2,143
R4	30,8	38,2	70,6	401,0	0,056	0,048	1,932
R5	27,7	38,0	42,2	531,5	0,042	0,038	1,962
R6	31,2	37,0	79,0	310,7	0,048	0,044	0,947
R7	31,4	38,0	65,7	359,7	0,048	0,042	1,949
R8	29,0	35,0	62,9	301,6	0,038	0,036	1,440
R9	31,8	39,0	65,3	400,4	0,054	0,048	1,635
R10	31,0	38,0	61,2	379,3	0,048	0,042	1,442
R11	32,1	42,0	46,6	576,2	0,076	0,066	2,291
R12	33,6	41,0	38,3	433,6	0,040	0,034	1,413
R13	30,0	37,0	50,8	368,4	0,038	0,036	1,531
R14	32,8	42,0	46,6	540,5	0,05	0,046	2,363
R15	32,8	40,0	60,0	411,7	0,048	0,042	0,810

**Nota:** Ensayos de compresión realizados a las muestras regulares, probetas sometidas al proceso de calcinación durante 30 min a una temperatura de 300° C .

**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

La Tabla 8, muestra que las probetas calcinadas a temperaturas a 550° C y 800° C , no pueden ser sometidas a carga en la maquina de compresion, debido a que se encuentran fracturadas en diferentes zonas del cilindro y fragiles en su totalidad.

Las muestras descritas en la Tabla 8 provienen de ejemplares bovinos adultos tales como: vacas ( R16, R17), toros ( R18, R19) y por ultimo las probetas obtenidas de ejemplares bueyes ( R20, R21).

Con respecto a lo experimentado se pudo notar que las probetas mecanizadas en forma de cilindro hueco empiezan a fallar en su estructura cuando superar los 300° C , en un tiempo

de exposición mayor a los 30 minutos, las muestras obtenidas son en su totalidad de una tonalidad oscura.

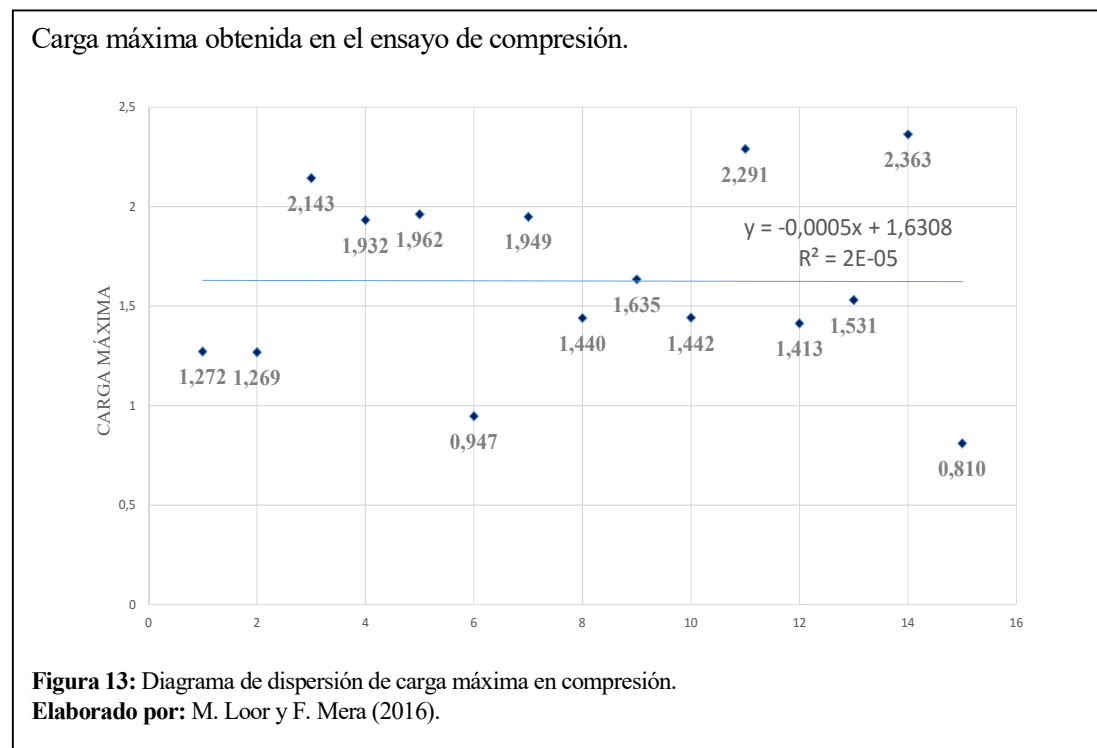
**Tabla 8.** Probetas no aptas para el ensayo de compresión.

<i>Ensayos con muestras regulares</i>								
<i>Muestr a</i>	<i>Øi (mm)</i>	<i>Øe (mm)</i>	<i>h (mm)</i>	<i>A (mm<sup>2</sup>)</i>	<i>Temperatura ( °C )</i>	<i>Peso inicial (kg)</i>	<i>Peso final (kg)</i>	<i>Carga (Tnf)</i>
R16	29,8	35,0	51,5	264,6	550	0,030	0,022	-
R17	29,6	36,9	81,5	381,3	800	0,056	0,045	-
R18	30,8	37,8	47,0	377,1	550	0,058	0,020	-
R19	30,2	40,9	68,7	597,5	800	0,083	0,044	-
R20	20,5	36,0	42,5	687,8	550	0,026	0,023	-
R21	29,4	39,5	53,0	546,6	800	0,078	0,033	-

**Nota:** Se muestra las probetas que se encuentran totalmente fracturadas luego del proceso de calcinación durante 30 min.

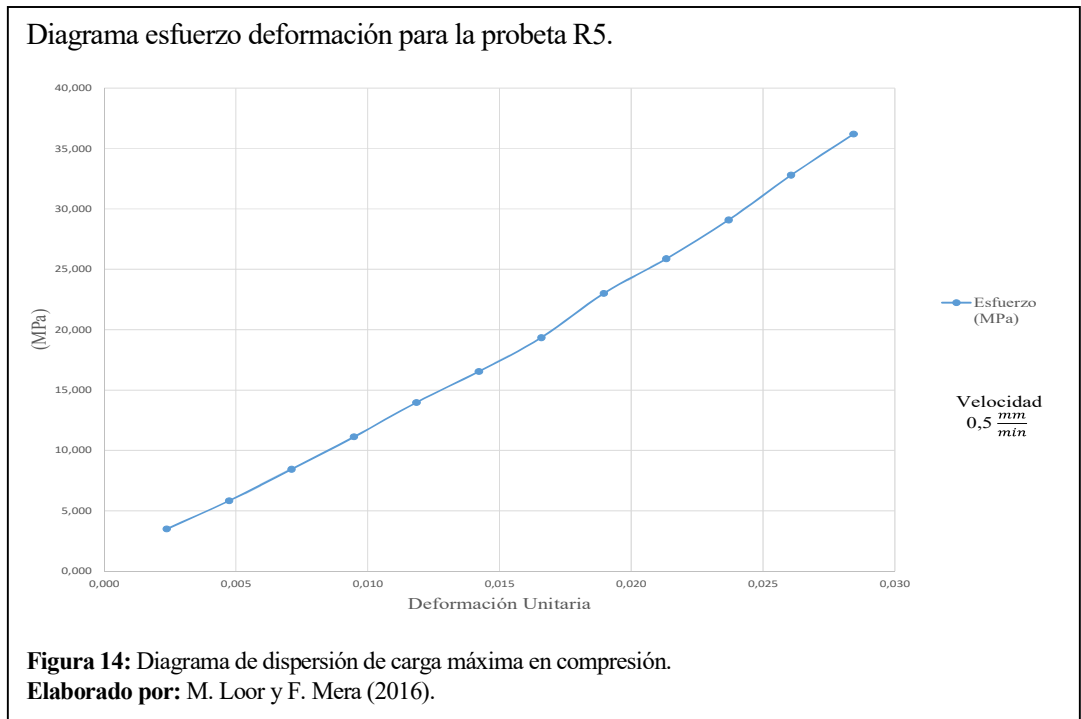
**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

Los resultados obtenidos, en base al ensayo de compresión, se muestran en el siguiente diagrama, para las probetas aptas posterior al calcinado del hueso.





Como ejemplo del comportamiento del material óseo calcinado, sometido a una carga de compresión se tiene la Figura 14.



Deformación unitaria: se define como la cantidad geométrica que se mide mediante técnicas experimentales. Siendo esta una medida por unidad de longitud de la contracción de un segmento de línea pequeño en el cuerpo. (Hibbeler, 2011, pág. 69)

Esfuerzo de compresión: el esfuerzo es la resistencia interna ofrecida por una unidad de área del material del cual está hecho un miembro a una carga externamente aplicada en este caso es una carga de compresión. (Mott, 2009, pág. 19)

### 3. CAPÍTULO III: ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 3.1 Equipos, herramientas y suministro de energía

##### 3.1.1 Equipos y herramientas para el proceso de calcinado

Dentro de los equipos adquiridos para el estudio se consideran las siguientes adquisiciones:

- ✓ Horno eléctrico de resistencias por un valor de USD 1 246.
- ✓ Guantes para altas temperaturas en un valor de USD 20.
- ✓ Guantes de látex USD 15.
- ✓ Fundas de cierre hermético USD 12.

##### 3.1.2 Consumo energético

Tiempo inicial o de precalentamiento ( $T_i$ ): Es el tiempo que el horno requiere para llegar a la temperatura deseada.

Tiempo de trabajo ( $T_t$ ): Es el tiempo que el horno trabaja a una misma temperatura programada.

Tiempo encendido ( $T_e$ ): Es el tiempo real donde el horno permanece encendido.

$$T_e = \sum t_{on} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Tiempo apagado ( $T_a$ ): Es el tiempo real donde el horno permanece apagado.

$$T_a = \sum t_{off} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

Tiempo consumo ( $T_c$ ): Es igual a la sumatoria de los tiempos en los cuales el horno se mantiene encendido.

$$T_c = T_i + T_e$$

[Ecuación 3]

Tomando en cuenta estas indicaciones se tiene las siguientes tablas:

**Tabla 9.** Tiempos de encendido y tiempos de apagado en una quema a 300 ° C .

<i>Tiempo</i>	<i>Parciales (min)</i>	<i>Total (min)</i>
t <sub>off</sub>	0,77	0,77
t <sub>on</sub>	0,38	1,15
t <sub>off</sub>	1,88	2,03
t <sub>on</sub>	0,58	2,61
t <sub>off</sub>	2,35	4,96
t <sub>on</sub>	0,58	5,54
t <sub>off</sub>	2,90	8,44
t <sub>on</sub>	0,57	9,01
t <sub>off</sub>	3,43	12,44
t <sub>on</sub>	0,57	13,01
t <sub>off</sub>	3,98	16,99
t <sub>on</sub>	0,57	17,56
t <sub>off</sub>	4,47	22,03
t <sub>on</sub>	0,57	22,60
t <sub>off</sub>	4,93	27,53
t <sub>on</sub>	0,55	28,08
t <sub>off</sub>	1,92	30,00

**Nota:** Periodos en los cuales el horno se enciende y apaga automáticamente.

**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

De la Tabla 9 se obtiene los datos necesarios para calcular el consumo, el horno tarda aproximadamente 3,94 minutos en llegar a la temperatura de 300 ° C durante todo el tiempo de precalentamiento el horno se mantiene encendido, mientras en el tiempo de trabajo los periodos en los cuales el horno permanece encendido suman 4,42 minutos, por tanto se obtiene el consumo:

$$T_c = (3,94 + 4,42) \text{ min}$$

$$T_c = 8,36 \text{ min}$$

$$T_c = 0,14 \text{ hrs}$$

El tiempo de consumo del horno es de 0,14 horas a 300 ° C y por un periodo de trabajo de 30 minutos.

**Tabla 10.** Tiempos de encendido y tiempos de apagado en una quema a 550 ° C .

<i>Tiempo</i>	<i>Parcial (min)</i>	<i>Total (min)</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Parcial (min)</i>	<i>Total (min)</i>
t <sub>off</sub>	1,55	1,55	t <sub>off</sub>	1,72	16,63
t <sub>on</sub>	0,55	2,10	t <sub>on</sub>	0,48	17,11
t <sub>off</sub>	1,50	3,60	t <sub>off</sub>	1,74	18,85
t <sub>on</sub>	0,54	4,14	t <sub>on</sub>	0,47	19,32
t <sub>off</sub>	1,63	5,77	t <sub>off</sub>	1,83	21,15
t <sub>on</sub>	0,47	6,24	t <sub>on</sub>	0,49	21,64
t <sub>off</sub>	1,72	7,96	t <sub>off</sub>	1,90	23,54
t <sub>on</sub>	0,45	8,41	t <sub>on</sub>	0,46	24,00
t <sub>off</sub>	1,53	9,94	t <sub>off</sub>	1,76	25,76
t <sub>on</sub>	0,46	10,40	t <sub>on</sub>	0,43	26,19
t <sub>off</sub>	1,70	12,10	t <sub>off</sub>	1,78	27,97
t <sub>on</sub>	0,48	12,58	t <sub>on</sub>	0,51	28,48
t <sub>off</sub>	1,83	14,41	t <sub>off</sub>	1,52	30,00
t <sub>on</sub>	0,50	14,91	-	-	-

**Nota:** Periodos en los cuales el horno se enciende y apaga automáticamente.

**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

El horno tarda aproximadamente 7,37 minutos en llegar a la temperatura de 550 ° C en el precalentamiento el horno se mantiene encendido, mientras en el tiempo de trabajo los periodos en los cuales el horno permanece encendido suman 5,9 minutos.

$$T_c = (7,37 + 5,9) \text{ min}$$

$$T_c = 13,27 \text{ min}$$

$$T_c = 0,22 \text{ hrs}$$

El tiempo de consumo del horno es de 0,22 horas a 550° C y por un periodo de trabajo de 30 minutos.

**Tabla 11.** Tiempos de encendido y tiempos de apagado quema a 800 ° C .

<i>Tiempo</i>	<i>Parcial (min)</i>	<i>Total (min)</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Parcial (min)</i>	<i>Total (min)</i>
t <sub>off</sub>	0,65	0,65	t <sub>on</sub>	0,47	15,30
t <sub>on</sub>	0,73	1,38	t <sub>off</sub>	0,92	16,22
t <sub>off</sub>	0,47	1,85	t <sub>on</sub>	0,45	16,67
t <sub>on</sub>	0,67	2,52	t <sub>off</sub>	0,92	17,59
t <sub>off</sub>	0,53	3,05	t <sub>on</sub>	0,47	18,06
t <sub>on</sub>	0,65	3,70	t <sub>off</sub>	0,95	19,01
t <sub>off</sub>	0,58	4,28	t <sub>on</sub>	0,47	19,48
t <sub>on</sub>	0,63	4,91	t <sub>off</sub>	0,97	20,45
t <sub>off</sub>	0,62	5,53	t <sub>on</sub>	0,47	20,92
t <sub>on</sub>	0,6	6,13	t <sub>off</sub>	0,98	21,90
t <sub>off</sub>	0,68	6,81	t <sub>on</sub>	0,45	22,35
t <sub>on</sub>	0,58	7,39	t <sub>off</sub>	1,01	23,36
t <sub>off</sub>	0,7	8,09	t <sub>on</sub>	0,43	23,80
t <sub>on</sub>	0,57	8,66	t <sub>off</sub>	1,03	24,83
t <sub>off</sub>	0,75	9,41	t <sub>on</sub>	0,43	25,26
t <sub>on</sub>	0,52	9,94	t <sub>off</sub>	1,02	26,28
t <sub>off</sub>	0,77	10,71	t <sub>on</sub>	0,42	26,70
t <sub>on</sub>	0,52	11,23	t <sub>off</sub>	0,97	27,67
t <sub>off</sub>	0,83	12,06	t <sub>on</sub>	0,42	28,09
t <sub>on</sub>	0,51	12,57	t <sub>off</sub>	0,95	29,04
t <sub>off</sub>	0,85	13,42	t <sub>on</sub>	0,40	29,44
t <sub>on</sub>	0,5	13,92	t <sub>off</sub>	0,56	30,00
t <sub>off</sub>	0,92	14,84	-	-	-

**Nota:** Periodos en los cuales el horno se enciende y apaga automáticamente.

**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

El horno tarda aproximadamente 15,03 min en llegar a la temperatura de 800 ° C durante todo el tiempo de precalentamiento el horno se mantiene encendido, mientras en el tiempo de trabajo los periodos en los cuales el horno permanece encendido suman 11,38 min.

$$T_c = (15,03 + 11,38) \text{ min}$$

$$T_c = 26,41 \text{ min}$$

$$T_c = 0,44 \text{ hrs}$$

El tiempo de consumo del horno es de 0,44 horas a  $800^{\circ}C$ , por un periodo de trabajo de 30 min.

Consumo en kilovatios hora ( $kWh$ ): Dado que la potencia se expresan en unidades de kilovatio ( $kW$ ), se debe realizar el análisis de consumo en  $kWh$ .

El horno entre otras cosas posee resistencias de tipo KANTAL A1, el mismo que presenta una resistividad ( $r$ ) dada en ohmios ( $\Omega$ ) sobre longitud ( $l$ ) total de  $35,6m$ . La resistividad del kantal es de  $0,82 \frac{\Omega}{m}$ .

Se encuentra conectado a una fuente de Voltaje ( $V$ ), de 220 voltios ( $V$ ).

Partiendo de resistividad ( $r$ ) del material, en función de la longitud, se obtiene la resistencia ( $R$ ):

$$R = r \times l \quad \text{[Ecuación 4]}$$

$$R = \frac{0,82\Omega}{m} \times 35,6m$$

$$R = 29,192\Omega$$

Por otra parte la potencia está definida por la siguiente fórmula:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad \text{[Ecuación 5]}$$

Pudiendo obtener la potencia del horno:

$$P = \frac{(220v)^2}{29,192\Omega};$$

$$P = \frac{48400v^2}{29,192\Omega};$$

$$P = 1657,988 \text{ vatios } (W)$$

$$P = 1,658 (kW)$$

Finalmente se obtiene los costos de trabajo del horno a diferentes temperaturas, partiendo de los tiempos de consumo en los periodos de 30 min más el precalentamiento y del valor estipulado para cada (kWh) de consumo, en las tarifas de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) de USD 0.099.

✓ Costo a 300 ° C :

$$\text{Costo} = P ( kW ) \times T_c \times \text{Tarifa} \frac{USD}{(kWh)} \quad [\text{Ecuación 6}]$$

$$\text{Costo} = 1,658 (kW) \times 0.14 \text{ hrs} \times 0.099 \frac{USD}{(kWh)}$$

$$\text{Costo} = USD \quad 0,023$$

✓ Costo a 550 ° C :

$$\text{Costo} = 1,658 (kW) \times 0.22 \text{ hrs} \times 0.099 \frac{USD}{Kwh}$$

$$\text{Costo} = USD \quad 0,036$$

✓ Costo a 800 ° C :

$$\text{Costo} = 1,658 (kW) \times 0.44 \text{ hrs} \times 0,099 \frac{USD}{Kwh}$$

$$\text{Costo} = USD \quad 0,0726$$

Se puede concluir basándose en los cálculos anteriores que el proceso de incineración del horno eléctrico es beneficioso debido a su bajo consumo energético y por ende un proceso íntegramente económico.

### **3.2 Obtención de probetas y ensayos**

#### **3.2.1 Obtención de huesos de ganado:**

La obtención de huesos para los diferentes ensayos, se pudo obtener el total de hueso necesario para el estudio, por un monto total de USD 200.

#### **3.2.2 Obtención de probetas y ensayos**

Las muestras mecanizadas mediante los procesos de cilindrado, perforado, refrenado y corte para la elaboración de probetas y realización de los ensayos constituyen un valor económico que asciende a los USD 80.

Los ensayos de compresión tienen un valor unitario de USD 30, representando un valor total de USD 450.



## CONCLUSIONES

- ✓ La literatura citada en el presente trabajo permite identificar que el estudio del hueso presenta aplicaciones variadas como: obtención de alimento para peces, es un fertilizante orgánico e inclusive sirve para realizar prótesis en seres humanos entre otras, que pueden ser aprovechadas mediante los procesos de calcinado y posterior obtención de polvo y harina de hueso.
- ✓ El equipo utilizado demuestra que es una herramienta que cumple con todas las características técnicas para los procesos de calcinado ya que permite mantener una temperatura constante, debido al bajo costo energético de 0,07 USD al realizar una quema a  $800^{\circ}\text{C}$  en un tiempo de 30 min sin tomar en consideración el tiempo de precalentamiento del horno, la disponibilidad y las ventajas presentadas en la literatura.
- ✓ El hueso sometido a carga, luego de los diferentes procesos realizados en este estudio, indica que la resistencia del hueso cortical calcinado empieza a disminuir en temperaturas superiores a los  $300^{\circ}\text{C}$ , punto en el cual la carga mínima ejercida por la máquina, para que se produzca falla por compresión en este estudio es de 0,81 tonelada fuerza.
- ✓ El producto obtenido del calcinado de hueso, muestra que a temperaturas superiores a los  $700^{\circ}\text{C}$  y con una exposición de 30 minutos, el hueso presenta una gran fragilidad, coloración blanca y una resistencia nula a las cargas, por lo que se puede obtener directamente polvo de hueso.
- ✓ La caracterización del hueso de ganado bovino representa un estudio complejo, este estudio beneficiará directamente a los productores agrícolas de la comunidad de Alambi, mediante la entrega del equipo necesario para la calcinación, debido a la obtención de un abono totalmente orgánico como lo es la harina de hueso de res,

el horno eléctrico permite el tratamiento y aprovechamiento de los residuos óseos en beneficio de los sembríos.

- ✓ Los hornos eléctricos permiten alcanzar una temperatura suficiente para el calcinado e incluso la cremación del hueso, como muestran los experimentos realizados a altas temperaturas, se evidencia la pérdida de materia orgánica como el colágeno, y la medula ósea, volviendo al producto del calcinado un residuo sumamente frágil, de color blanco y con residuos en forma de ceniza.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Maximizar el estudio de las características mecánicas de diferentes tipos de tejido óseo, en especies animales con fisionomía diferente a la del ganado bovino, ya que los desperdicios del faenamiento de diferentes tipos de ganado produce residuos deben ser aprovechados.
- ✓ Considerar la obtención del producto derivado del hueso calcinado, como la harina del mismo y sus diversas aplicaciones, orientadas a la producción de abono y a la alimentación de diferentes animales.
- ✓ Considerar que el equipo utilizado en este estudio permite obtener productos de calcinado a altas temperaturas, pero también puede ser orientado a procesos en los que se requiere un control y alta generación de calor, como los procesos de tratamiento térmico y eliminación de residuos biológicos dado que el hueso y elementos contaminados de riesgo biológico pueden ser eliminados mediante la cremación.
- ✓ Difundir las conclusiones obtenidas en este estudio, principalmente en las zonas rurales, donde la población se dedica a la producción de carne en mayor proporción, para que los datos disponibles puedan ser aprovechados en la construcción de máquinas y generación de procesos de aprovechamiento de los residuos óseos.
- ✓ Proponer el tratamiento y aprovechamiento de residuos generados posterior al faenamiento de diferentes tipos de ganado, en las industrias cármicas asentadas en el país, y generar opciones para mejorar las condiciones de trabajo de los productores de carne minoristas.

## REFERENCIAS

- Alonso, D. A. (12 de Octubre de 2009). *Centro de Tecnologías Limpias*. Obtenido de Centro de Tecnologías Limpias:  
[http://www.cma.gva.es/comunes\\_esp/documentos/agenda/cas/56887-CONFERENCIA%20Alberto%20Lle%C3%B3%202.pdf](http://www.cma.gva.es/comunes_esp/documentos/agenda/cas/56887-CONFERENCIA%20Alberto%20Lle%C3%B3%202.pdf)
- Arqueología Industrial. (17 de Marzo de 2015). *Arqueología Industrial*. Obtenido de Arqueología Industrial:  
<https://arqueologiaindustrial.files.wordpress.com/2010/06/horno-hoffmann.pdf>
- Astigarraga Urquiza, J. (1995). *Hornos industriales de resistencias*. Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL.
- Astigarraga Urquiza, J. (1999). *Hornos industriales de resistencias*. Santafé de Bogotá: McGRAW-HILL.
- Avances en Ciencias Veterinarias. (13 de Noviembre de 2006). *Avances en Ciencias Veterinarias*. Obtenido de Avances en Ciencias Veterinarias:  
<http://www.avancesveterinaria.uchile.cl/index.php/ACV/article/view/10398/10454>
- BVSDE. (25 de Septiembre de 2015). *Residuos Sanitarios*. Obtenido de Residuos Sanitarios: [http://www.bvsde.paho.org/cursoa\\_reas/e/fulltext/Ponencias-ID55.pdf](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_reas/e/fulltext/Ponencias-ID55.pdf)
- Cabrera, L. H. (04 de Junio de 2015). *Frigorífico Guadalupe S.A.* Obtenido de Frigorífico Guadalupe S.A.: <http://www.fao.org/livestock/AGAP/FRG/APH134/cap7.htm>
- Caerio, J., González, P., & Guede, D. (Abril-Junio de 2013). Ensayo en los distintos niveles jerárquicos hueso y técnicas alternativas para la determinación de la resistencia ósea. *Osteoporosis y Metabolismo Mineral*, *V(2)*, 99-108.
- Cegarra, J. (2004). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid: Diaz de Santos.
- Chelsey, J. (14 de Agosto de 2013). *Accelerated genetic*. Obtenido de Accelerated genetic:  
<http://www.accelgen.com/english>
- Corantioquia. (01 de Enero de 2016). *Requerimientos Técnicos y Normativos para*. Obtenido de Requerimientos Técnicos y Normativos para:  
[http://corantioquia.gov.co/sitios/ExtranetCorantioquia/SiteAssets/Images/MenuSuperiorArchivos/Microsoft%20Word%20-%20protocolo\\_requerimientos\\_tecnicos\\_y\\_normativos\\_para\\_hornos\\_incineradores.pdf](http://corantioquia.gov.co/sitios/ExtranetCorantioquia/SiteAssets/Images/MenuSuperiorArchivos/Microsoft%20Word%20-%20protocolo_requerimientos_tecnicos_y_normativos_para_hornos_incineradores.pdf)
- Cuevas, J. (21 de Mayo de 2016). *Universidad Autonoma de Madrid*. Obtenido de Universidad Autonoma de Madrid:  
[https://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/jaimefa/jaimecuevas/clase7.pdf](https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jaimefa/jaimecuevas/clase7.pdf)

- Díaz, B. (07 de Abril de 2009). *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo:  
<http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/273/3/15T00424.pdf>
- EELA. (2011). *CAEM*. Obtenido de CAEM: <http://www.caem.org.co/img/Hornos.pdf>
- EELA. (11 de Diciembre de 2015). *Red Ladrilleras*. Obtenido de Red Ladrilleras:  
[http://www.redladrilleras.net/documentos\\_galeria/Manual%20de%20hornos%20eficientes.pdf](http://www.redladrilleras.net/documentos_galeria/Manual%20de%20hornos%20eficientes.pdf)
- Enciclopedia Bovina. (27 de Marzo de 2016). *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia*. Obtenido de Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia:  
[http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/e\\_bovina/09AberdeenAngus.pdf](http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/e_bovina/09AberdeenAngus.pdf)
- ETXEBERRIA, F. (26 de Junio de 2014). *MUNIBE*. Obtenido de MUNIBE:  
<http://www.aranzadi.eus/fileadmin/docs/Munibe/1994111116AA.pdf>
- Falla Cabrera, L. H. (14 de Julio de 1993). *Tratamiento y utilización de residuos de origen animal, pesquero y alimenticio en la alimentación animal*. Obtenido de Desecho de matadero como alimento animal en Colombia: <http://www.fao.org/3/a-w4132s.pdf>
- Fernández Castillo, R. (10 de Octubre de 2009). *DIGIBUG*. Obtenido de DIGIBUG:  
<http://digibug.ugr.es/handle/10481/19851#.VpP8FLbhDIU>
- García Vegas, F. (1998). METALURGIA Y ELECTRICIDAD. *MOLDEO Y FUNCIÓN*, 40-42.
- García, M. C. (11 de Enero de 2016). *Biblioteca Medica Nacional*. Obtenido de Biblioteca Medica Nacional: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Julio-Agosto2005/CD1/pdf/spa/doc6995/doc6995-f3.pdf>
- Gobierno de Costa Rica. (1992). *Plan nacional de manejo de desechos Costa Rica*. San José: Publicaciones UNED.
- Hibbeler, R. (2011). *MECÁNICA DE MATERIALES*. Mexico D.C.: PRENTICE HALL.
- IDAE. (1993). Manuales técnicos y de instrucción para conservación de energía. *Catálogo de Publicaciones 2009*, 32-42.
- Jiménez, M., Bustamante, M., & Sánchez, E. (24 de enero de 2013). Análisis geométrico de la arquitectura trabecular de un hueso de bovino durante el proceso inducido de desmineralización. *Revista Chilena de Radiología*, 32.
- Lopez, M. E., Echavarría, A., Suarez, R., & Natalia, H. (s.f.).
- MAINCER. (16 de Noviembre de 2010). *MAQUINARIA Y AUTOMATISMOS INDUSTRIALES*. Obtenido de MAQUINARIA Y AUTOMATISMOS

INDUSTRIALES: [http://www.maincer.es/71176\\_es/Hornos-mufla/?gclid=CMjbpLP-gM0CFVZahgodxnYPiA](http://www.maincer.es/71176_es/Hornos-mufla/?gclid=CMjbpLP-gM0CFVZahgodxnYPiA)

MARKMONITOR. (20 de Mayo de 2010). *Razas de Vacas Lecheras*. Obtenido de Razas de Vcas Lecheras: <http://willian-rumiguano.blogspot.com/>

Michelle Allsopp, P. C. (28 de Mayo de 2016). *Network Solutions*. Obtenido de Ambiente Ecológico: <http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/informesEspeciales/InformeSobreIncineracionySaludHumana.pdf>

Mingot, G. (1987). *Gran Diccionario de las Ciencias*. Paris: Larousse.

Mott, R. (2009). *Resistencia de Materiales*. Mexico D.C.: PEARSON EDUCACIÓN.

Ramirez de Aguilar. (1986). boletín de la Asociación Cultural Montes de Toledo. *Revista de estudio Monteños*, 3.

Romero, A. (20 de Enero de 2005). *TODACULTURA*. Obtenido de Horno de gas: <http://www.todacultura.com/ceramica/hornogas.htm>

San Antonio, T., Corvo, A., Chirinos, E., & Gubaira, E. (02 de Agosto de 2004). Dispositivo fragmentador de huesos para realizar autoinjertos. *Revista INGENIERÍA UC*, 20.

SARACCO Y CIA. C.A. (15 de Junio de 2009). *SARACCO Y CIA. C.A. (Equipos, Maquinarias y Refractarios para Alfarería)*. Obtenido de SARACCO Y CIA. C.A. (Equipos, Maquinarias y Refractarios para Alfarería): [http://www.saraccocyca.com/index.php?ir=productos&grupo\\_id=1&subg\\_id=3](http://www.saraccocyca.com/index.php?ir=productos&grupo_id=1&subg_id=3)

Sistema Nacional de Información. (23 de Octubre de 2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia Nono*. Obtenido de Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia Nono: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/1768122810001\\_PDOT%20DIAGNOSTICO%20NONO%202015-2019\\_30-10-2015\\_23-30-15.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1768122810001_PDOT%20DIAGNOSTICO%20NONO%202015-2019_30-10-2015_23-30-15.pdf)

Soma de Feré, G., & Rochinotti, D. (22 de Noviembre de 2006). *USO DE LA CENIZA DE HUESOS PARA LA SUPLEMENTACIÓN MINERAL DE RUMIANTES EN PASTOREO*. Obtenido de SITIO ARGENTINO DE PRODUCCIÓN ANIMAL: [http://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion\\_mineral/53-uso\\_ceniza\\_hueso.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/53-uso_ceniza_hueso.pdf)

Topolevsky, R., Gaston, A., & Echeverría, C. (06 de Junio de 1986). *Boletines*. Obtenido de Boletines: <http://boletines.secv.es/upload/198625415.pdf>

Universidad Autonoma de Nuevo Leon. (31 de Enero de 1990). *Universidad Autonoma de Nuevo Leon*. Obtenido de Hornos industriales: [http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020082523/1020082523\\_008.pdf](http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020082523/1020082523_008.pdf)

Universidad de las Americas-Puebla. (28 de Diciembre de 2015). *La empresa ganadera*.

Obtenido de La empresa ganadera:

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/ladi/madera\\_f\\_j/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/ladi/madera_f_j/capitulo3.pdf)

Universidad de Oviedo. (26 de Octubre de 2009). *Hornos industriales*. Obtenido de

Hornos industriales:

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion1.HornosIndustriales.2006.pdf>

Valerio, D. (08 de Septiembre de 2008). *GANADO BOVINO*. Obtenido de GANADO BOVINO:

[http://1.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Fwww.uco.es%2Fzootecniaygestion%2Fimg%2Fpictorex%2F08\\_09\\_53\\_tema1\\_ganado\\_bovino.pdf&h=QAQEI6UWs](http://1.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Fwww.uco.es%2Fzootecniaygestion%2Fimg%2Fpictorex%2F08_09_53_tema1_ganado_bovino.pdf&h=QAQEI6UWs)

Vía Rural Agro y Construcción. (09 de Marzo de 2007). *Vía Rural*. Obtenido de Vía Rural:

[http://www.viarural.com.ec/ganaderia/a-](http://www.viarural.com.ec/ganaderia/a-bovinos/exteriorbovinos/asocriadoresexterior-holstein.htm)

[bovinos/exteriorbovinos/asocriadoresexterior-holstein.htm](http://www.viarural.com.ec/ganaderia/a-bovinos/exteriorbovinos/asocriadoresexterior-holstein.htm)

Vía Rural Agro y Construcción. (09 de Marzo de 2007). *Vía Rural*. Obtenido de Vía Rural:

[http://www.viarural.com.ec/ganaderia/a-](http://www.viarural.com.ec/ganaderia/a-bovinos/exteriorbovinos/asocriadoresexterior-pardosuizo.htm)

[bovinos/exteriorbovinos/asocriadoresexterior-pardosuizo.htm](http://www.viarural.com.ec/ganaderia/a-bovinos/exteriorbovinos/asocriadoresexterior-pardosuizo.htm)

Vía Rural Agro y Construcción. (09 de Marzo de 2007). *Vía Rural*. Obtenido de Vía Rural:

[http://www.viarural.com.ec/ganaderia/a-](http://www.viarural.com.ec/ganaderia/a-bovinos/exteriorbovinos/asocriadoresexterior-angus.htm)

[bovinos/exteriorbovinos/asocriadoresexterior-angus.htm](http://www.viarural.com.ec/ganaderia/a-bovinos/exteriorbovinos/asocriadoresexterior-angus.htm)

## ANEXOS

### Anexo 1. Muestra calcinada a $550^{\circ}\text{C}$ durante 30 minutos

Muestra calcinada a  $550^{\circ}\text{C}$  .



**Figura 15:** Muestras posteriores al proceso de calcinado a  $550^{\circ}\text{C}$  .  
**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

### Anexo 2. Muestra calcinada a $800^{\circ}\text{C}$ durante 30 minutos

Muestra calcinada a  $800^{\circ}\text{C}$  .



**Figura 16:** Muestras posteriores al proceso de calcinado a  $800^{\circ}\text{C}$  .  
**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).



### Anexo 3. Balanza digital con apreciación en gramos

Toma de pesos y medidas.



**Figura 17:** Obtención de las pesas y medidas de las probetas.  
**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

### Anexo 4. Máquina Universal utilizada para realizar los ensayos de compresión.

Ensayos de compresión.



**Figura 18:** Muestra sometida a compresión en el laboratorio LEMSUR.  
**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

Anexo 5. Horno Eléctrico utilizado para realizar las quemas.

Equipo (Horno) para la calcinación.



**Figura 19:** Horno Eléctrico encendido.  
**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

Anexo 6. Hueso femoral perteneciente a una vacona.

Hueso femoral (Vacona).



**Figura 20:** Hueso femoral bovino  
**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

Anexo 7. Hueso femoral perteneciente a una vacona.

Hueso femoral (Toro).



**Figura 21:** Hueso femoral de toro.  
**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

Anexo 8. Hueso femoral concerniente a una ternero.

Hueso femoral (Ternero)



**Figura 22:** Hueso femoral de ternera.  
**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

Anexo 9. Muestras mecanizadas posterior a proceso de calcinado.

Muestras previo al calcinado.



**Figura 23:** Probetas previo al calcinado  
**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

Anexo 10. Proceso de limpieza y selección del hueso femoral.

Limpieza y selección de hueso.



**Figura 24:** Limpieza y selección del hueso.  
**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

Anexo 11. Muestras pilotos realizados a diferentes temperaturas y tiempo de exposición.

Diferentes muestras Piloto posterior al calcinado.



**Figura 25:** Muestras piloto calcinadas.  
**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

Anexo 12. Muestras regulares realizados a diferentes temperaturas y tiempo de exposición.

Diferentes muestras regulares posterior al calcinado y ensayo de compresión.



**Figura 26:** Muestras regulares posterior a la compresión.  
**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

Anexo 13. Ejemplo de una probeta mecanizada hasta su forma de cilindro hueco.

Probeta de hueso cortical



**Figura 27:** Probeta regular de hueso cortical.  
**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

Anexo 14. Vista de probeta despues del proceso de calcinación a 300°C y 30 min

Probeta calcinada a 300°C .



**Figura 28:** Probeta regular calcinada.  
**Elaborado por:** M. Loor y F. Mera (2016).

## Anexo 15.- Nomenclatura

<i>BVSDE</i>	Biblioteca Virtual Sostenible y Salud Ambiental.	<i>Kg</i>	Kilogramos.
<i>IDAE</i>	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.	<i>W</i>	Watt.
<i>EELA</i>	Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales.	<i>v</i>	Voltios.
<i>QUS</i>	Análisis Cuantitativo por Ultrasonido.	<i>t</i>	Tiempo.
<i>FEA</i>	Análisis mediante Elementos Finitos.	<i>T</i>	Temperatura.
<i>RSU</i>	Residuos Sólidos Urbanos.	<i>km</i>	Kilómetros.
<i>CDR</i>	Combustible Derivado de Residuos.	<i>pág</i>	Página.
<i>PCS</i>	Poder Calorífico Superior.	$\phi_i$	Diámetro interno.
<i>PCI</i>	Poder Calorífico Inferior.	$\phi_e$	Diámetro externo.
<i>LFC</i>	Lecho Fluidizado Circulante.	<i>h</i>	Altura.
<i>LFB</i>	Lecho Fluidizado Burbujeante.	<i>A</i>	Área de la sección transversal.
<i>GEI</i>	Gas Efecto Invernadero.	$P_n$	Muestra piloto.
$NO_x$	Óxido de nitrógeno.	$M_n$	Muestra irregular.
<i>Kcal</i>	Kilocalorías.	$R_n$	Muestra regular.
<i>rpm</i>	Revoluciones por minuto.	$M_n$	Muestra irregular.
$^{\circ}C$	Grados Celsius.	<i>Tnf</i>	Tonelada fuerza.
<i>s</i>	Segundos.	<i>USD</i>	Dólares.
<i>min</i>	Minutos.	$T_i$	Tiempo inicial o de precalentamiento.
<i>hrs</i>	Hora.	$T_t$	Tiempo de trabajo.
<i>m</i>	Metros.	$T_e$	Tiempo de encendido.
<i>cm</i>	Centímetros.	$T_a$	Tiempo de apagado.
<i>mm</i>	Milímetros.	$T_c$	Tiempo de consumo.
$mm^2$	Milímetros cuadrados.	<i>kW</i>	Kilovatios.
$\mu m$	Micrómetro.	<i>kWh</i>	Kilowatt hora.
		<i>r</i>	Resistividad.
		$\Omega$	Ohmios.
		<i>l</i>	Longitud.
		<i>V</i>	Voltaje.
		<i>R</i>	Resistencia térmica.
		<i>%</i>	Porcentual.

## Anexo 16. Manual De Mantenimiento

Los sistemas eléctricos para su mantenimiento; en general sólo consisten en probar constantemente su oportuna puesta en funcionamiento, para lo cual se debe verificar:

### **Encendido automático o manual:**

Las perillas y botones deben ser revisados y confirmar su efectividad.

### **Limpieza:**

Controlador PID.- Se debe revisar la carcasa, y eliminar el exceso de polvo, ya que impide un buen contacto de los componentes eléctricos.

Resistencias.- Se debe verificar que las resistencias eléctricas no alojen residuos ni polvo que pueda acumularse.

Periodo de revisión:

CRO NO GRAMA DE MANTENIMIENTO												
MANTENIMIENTO ANUAL	MESES											
ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sistema de encendido		X		X		X		X		X		X
Limpieza del controlador				X				X				X
Limpieza de las resistencias	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Este mantenimiento se realiza tomando en cuenta una operación diaria normal, con una jornada no mayor a 8 horas diarias.

## Anexo 17. Manual De Operaciones

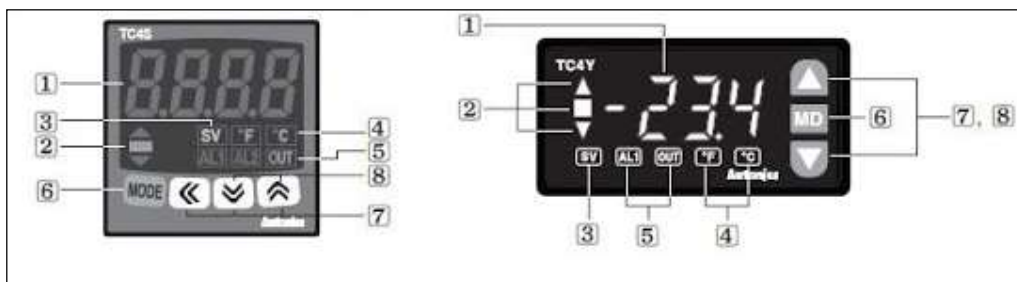
La programación del horno de basa en el controlador AUTONICS TC4S-14R, el mismo corresponde al control de temperatura mediante un display que muestra la temperatura registrada en la termocupla tipo K.



**AUTONICS TC4S-14R**

Para el funcionamiento, una vez encendido el horno se muestra en la pantalla la temperatura registrada.

Los componentes se muestran a continuación:



1. Display de temperatura.
2. Indicador de desviación. (muestra si la temperatura se incrementa, disminuye o se mantiene estable respecto a la temperatura configurada).
3. SV. Indicador de temperatura programada.



4. Indicador de temperatura (°C, °F), muestra la unidad de la temperatura registrada.
5. Indicador de encendido y alarmas.
6. MODO, tecla que permite alternar la pantalla de configuración de temperatura y temperatura actual.
7. Panel de ajuste.
8. Botones superior, inferior, permiten modificar la temperatura a la que se requiere que se fije el funcionamiento del horno.

Muestra:

A continuación la configuración de la pantalla (suponiendo un cambio de temperatura de 210 °C a 250 °C).



La operación máxima recomendada para el horno es de 1260 °C.