



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

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

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA
ENERGÉTICO AUTOMATIZADO PARA EL APROVECHAMIENTO
EFICIENTE DE CARBÓN VEGETAL EN APLICACIONES
GASTRONÓMICAS”**

AUTORES: GUZMÁN PALACIOS, CHRISTIAN OSWALDO

MALDONADO ARTEAGA, STALIN ALEJANDRO

DIRECTOR: GUTIÉRREZ GUALOTUÑA, EDUARDO ROBERTO

SANGOLQUI

2016



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ENERGÉTICO AUTOMATIZADO PARA EL APROVECHAMIENTO EFICIENTE DE CARBÓN VEGETAL EN APLICACIONES GASTRONÓMICAS.**” realizado por los señores **CHRISTIAN OSWALDO GUZMÁN PALACIOS** y **STALIN ALEJANDRO MALDONADO ARTEAGA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlos y autorizar a los señores **CHRISTIAN OSWALDO GUZMÁN PALACIOS** y **STALIN ALEJANDRO MALDONADO ARTEAGA** para que lo sustenten públicamente.

Sangolqui, 22 de Enero del 2016



**ING. EDUARDO GUTIÉRREZ GUALOTUÑA
TUTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **CHRISTIAN OSWALDO GUZMÁN PALACIOS**, con cédula de ciudadanía N° 171966708-9 y **STALIN ALEJANDRO MALDONADO ARTEAGA**, con cédula de ciudadanía N° 131242718-8 declaramos que este trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ENERGÉTICO AUTOMATIZADO PARA EL APROVECHAMIENTO EFICIENTE DE CARBÓN VEGETAL EN APLICACIONES GASTRONÓMICAS.**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolqui, 22 de Enero del 2016

ALEJANDRO MALDONADO A.

131242718-8

CHRISTIAN GUZMÁN P.

171966708-9



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **CHRISTIAN OSWALDO GUZMÁN PALACIOS** y **STALIN ALEJANDRO MALDONADO ARTEAGA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ENERGÉTICO AUTOMATIZADO PARA EL APROVECHAMIENTO EFICIENTE DE CARBÓN VEGETAL EN APLICACIONES GASTRONÓMICAS.**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolqui, 22 de Enero del 2016

ALEJANDRO MALDONADO A.
131242718-8

CHRISTIAN GUZMÁN P.
171966708-9

DEDICATORIA

Dedico primeramente este trabajo de investigación y todo mi esfuerzo a mis padres, a mi madre la Lic. Victoria Palacios por el amor y los valores inculcados a lo largo de toda mi vida, a mi padre el Ing. Oswaldo Guzmán Msc., por el ejemplo de superación y por toda su confianza depositada en mí para superar cada reto que se me presentaba en la vida sin dudar de mi inteligencia y capacidad. Segundo a mis hermanos Ronald y Carolina Guzmán por su apoyo ya que siempre han sabido estar a mi lado en los buenos y malos momentos y a Karla Zapata, por toda su paciencia y amor a lo largo de la carrera, quien supo darme esa palabra de aliento para siempre salir adelante. Es por ellos que ahora soy quien soy. Los amo

CHRISTIAN GUZMÁN P.

DEDICATORIA

A mi hermana Melissa,

quien sin saberlo, se convirtió en mi motor desde el día en que nació.

Todo por ella.

ALEJANDRO MALDONADO A.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios, por haberme guiado siempre por el camino correcto para alcanzar las metas que me he trazado. Segundo a mis Padres la Lic. Victoria Palacios y el Ing. Oswaldo Guzmán por haberme encaminado por el camino correcto hasta llegar a alcanzar esta meta. A mis hermanos Ronald Y Carolina por estado a mi lado todos estos años y por esos momentos únicos compartidos juntos. A mis amigos, Luis Tapia, Jonathan Ávila, Ing. Alex Rosero, Paola Terán, Paola Pilicita, Marco Mera y Edwin Yaguana por todo su apoyo incondicional, por su amistad y darme siempre la mano cuando más lo he necesitado. A mi novia Karla porque siempre estuvo a mi lado encaminándome y apoyándome, y finalmente a mi compañero de este trabajo de investigación Alejandro Maldonado porque desde el primer día en la universidad supo darme su apoyo y amistad y hoy gracias a eso hemos culminado el largo camino para conseguir el título. Al Ing. Roberto Gutiérrez por la guía y ayuda brindada para el desarrollo de este proyecto de titulación.

CHRISTIAN GUZMÁN P.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por la paciencia y las enseñanzas, que me han guiado a ser quien soy hoy en día.

A mis amigos, por ser parte fundamental durante este trayecto, en las buenas y en las malas.

A mis profesores, por su aporte a mi formación profesional y humana.

A todos quienes de alguna manera han formado parte de mi vida durante estos años.

Al Ing. Roberto Gutiérrez por la guía y ayuda brindada para el desarrollo de este proyecto de titulación.

.

ALEJANDRO MALDONADO A.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPITULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4 ALCANCE	4
1.5 JUSTIFICACIÓN	4
CAPITULO 2	6
COCCIÓN DE ALIMENTOS: ASADO	6
2.1 INDUSTRIA DE ASADO DE ALIMENTOS	6
2.2 TIPOS DE COCCIÓN DE ALIMENTOS	7
2.2.1 COCCIÓN POR CONCENTRACIÓN	8
2.2.2 COCCIÓN POR EXPANSIÓN	9
2.2.3 COCCIÓN MIXTA	10
2.3 ASADO DE ALIMENTOS	10
2.3.1 CONSIDERACIONES Y PROPIEDADES DE LAS COCCIÓN MEDIANTE ASADO	12

2.3.2 TEMPERATURAS DE COCCIÓN.....	13
CAPITULO 3	15
CARBÓN VEGETAL	15
3.1 COMBUSTIBLES SOLIDOS	15
3.2 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL CARBÓN VEGETAL.....	15
3.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD.....	16
3.2.2 MATERIA VOLÁTIL	17
3.2.3 CONTENIDO DE CARBONO FIJO	18
3.2.4 CONTENIDO DE CENIZAS.....	18
3.2.5 ANÁLISIS TÍPICO DEL CARBÓN VEGETAL	18
3.2.6 PROPIEDADES FÍSICAS	20
3.3 PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE CARBÓN VEGETAL EN EL MUNDO, LATINOAMÉRICA Y ECUADOR	20
3.3.1 CONSUMO DE CARBÓN EN LATINOAMÉRICA Y EL MUNDO	20
3.3.2 CONSUMO MUNDIAL DE CARBÓN VEGETAL EN EL SECTOR COMERCIAL.....	22
3.3.3 CONSUMO MUNDIAL DE CARBÓN VEGETAL EN EL SECTOR URBANO.....	22
3.3.4 CONSUMO Y PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL EN ECUADOR.....	23
3.4 IMPACTO AMBIENTAL DEL CONSUMO DE CARBÓN VEGETAL.....	27
CAPITULO 4	30
ESTADO DEL ARTE SOBRE EQUIPOS DE ASADO DE ALIMENTOS	30
4.1 ESTUDIOS SOBRE APROVECHAMIENTO EFICIENTE DE CARBÓN VEGETAL	30
4.1.1 CALIDAD DEL CARBÓN VEGETAL.....	31
4.1.2 EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN DEL CARBÓN VEGETAL	31
4.2 DESARROLLO DE LOS ASADORES	33
CAPÍTULO 5	36
DISEÑO TÉRMICO DEL SISTEMA ENERGÉTICO	36
5.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MATERIALES	36
5.1.1 PLANCHAS DE ACERO	37
5.1.2 LADRILLO REFRACTARIO.....	37
5.1.3 AISLANTE TÉRMICO (LANA DE ROCA)	38
5.1.4 ACERO NEGRO.....	39
5.1.5 VIDRIO TEMPLADO.....	40
5.1.6 PINTURA ANTICORROSIVA PARA ALTAS TEMPERATURAS	40
5.2 PROPIEDADES DE MATERIALES SELECCIONADOS	41

5.2.1 PLANCHAS DE ACERO	41
5.2.2 LADRILLO REFRACTARIO.....	44
5.2.3 LANA DE ROCA	45
5.2.4 ACERO NEGRO.....	47
5.2.5 VIDRIO TEMPLADO.....	48
5.2.6 PINTURA ANTICORROSIVA PARA ALTAS TEMPERATURAS	49
5.3 PARÁMETROS DE DISEÑO Y SELECCIÓN:.....	50
5.3.1 MOTORES Y CAJA REDUCTORAS	51
5.3.2 CÁMARA DE COMBUSTIÓN (QUEMADOR)	57
CAPÍTULO 6	77
INSTRUMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN	77
6.1 DETALLES DE LAS FUNCIONES.....	77
6.1.1 INSTRUMENTACIÓN	77
6.1.2 AUTOMATIZACIÓN	80
6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS	82
6.2.1 ARDUINO MEGA 2560 R3.....	82
6.2.2 TERMOCUPLAS TIPO J	83
6.2.3 INTERRUPTOR MAGNETO TÉRMICO	86
6.2.4 PANTALLA LCD.....	87
6.2.5 PULSADORES	87
6.2.6 SWITCH DE TRES POSICIONES	88
6.2.7 LUCES LED.....	88
6.2.8 CONTACTORES ELECTROMAGNÉTICOS.....	88
6.2.9 FINES DE CARRERA	89
6.2.10 RELÉS DE 5 VOLTIOS	89
6.2.11 AMPLIFICADORES OPERACIONALES LM741.....	90
CAPITULO 7	91
RESULTADOS Y ANÁLISIS	91
7.1 RESULTADOS	91
7.1.1.- LOCALES DONDE SE ASAN FILETES (POLLO, CARNE Y/O CHULETAS).....	92
7.1.2.- LOCALES DONDE SE ASAN EXCLUSIVAMENTE POLLOS ENTEROS.....	93
7.1.3 PRUEBAS EN EL EQUIPO	94
7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	101
7.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ASADO DE ALIMENTOS SOBRE PARRILLA	101

7.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ASADO DE POLLO ENTERO	102
7.3 ANÁLISIS ECONÓMICO	104
CAPÍTULO 8	107
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
8.1 CONCLUSIONES	107
8.2 RECOMENDACIONES	108
BIBLIOGRAFÍA	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo promedio de carbón vegetal en asaderos de parrilladas.....	2
Tabla 2. Consumo promedio de carbón vegetal en asaderos de pollos.....	2
Tabla 3. Número de establecimientos que utilizan carbón vegetal.....	6
Tabla 4. Temperatura interna optima de diferentes alimentos.....	13
Tabla 5. Composición de varios tipos de carbón vegetal.....	19
Tabla 6. La leña en el consumo mundial de energía en 1978.....	21
Tabla 7. Combustibles utilizados para cocinar alimentos en ecuador.....	23
Tabla 8. Consumo de leña en regiones rurales.....	24
Tabla 9. Consumo de carbón vegetal en regiones rurales.....	25
Tabla 10. Consumo de leña en ecuador.....	25
Tabla 11. Consumo de leña en regiones urbanas.....	26
Tabla 12. Consumo carbón vegetal en la región urbana.....	26
Tabla 13. Consumo de carbón en base a número de familias urbanas.....	27
Tabla 14. Madera disponible en Ecuador en 1982.....	28
Tabla 15. Matriz de decisión selección de planchas de acero.....	37
Tabla 16. Matriz de decisión de aislante térmico.....	38
Tabla 17. Matriz de decisión de acero.....	39
Tabla 18. Composición química del acero a-36.....	41
Tabla 19. Propiedades mecánicas del acero a-36.....	42
Tabla 20. Propiedades térmicas del acero a-36.....	42
Tabla 21. Aplicaciones según el espesor de la plancha a-36.....	43
Tabla 22. Resumen propiedades del ladrillo refractario.....	45
Tabla 23. Características técnicas de la lana de vidrio.....	46
Tabla 24. Propiedades mecánicas del acero negro.....	47
Tabla 25. Propiedades del vidrio templado.....	48
Tabla 26. Características del motor del primer sistema.....	52
Tabla 27. Características caja reductora del primer sistema.....	53
Tabla 28. Diámetros y rpm de poleas del primer sistema.....	53
Tabla 29. Pesos de elementos a mover en segundo sistema.....	54
Tabla 30. Características de la caja reductora del segundo sistema.....	55
Tabla 31. Diámetros y rpm de poleas del segundo sistema.....	55
Tabla 32. Características del motor del segundo sistema.....	57
Tabla 33. Características arduino mega 2560 r3.....	83
Tabla 34. Tipos de termocuplas.....	84
Tabla 35. Tabulación datos de encuestas.....	92
Tabla 36. Resumen cantidad de carbón utilizado vs cantidad de pollos asados.....	93
Tabla 37. Resumen peso del pollo vs tiempo en asar.....	94
Tabla 38. Resultados prueba de asado sobre parrilla.....	97
Tabla 39. Análisis de resultados asado de alimentos sobre parrilla.....	101
Tabla 40. Ahorro económico diario.....	102
Tabla 41. Análisis de resultados asado de pollos enteros.....	103
Tabla 42. Ahorro económico diario.....	103
Tabla 43. Resumen de gastos.....	104
Tabla 44. Costo total del proyecto.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diferentes tipos de sistemas de cocción de alimentos.....	8
Figura 2. Parrilla con espiedo.....	11
Figura 3. Sondas térmicas.....	14
Figura 4. Combustibles utilizados para cocinar alimentos en Ecuador.....	24
Figura 5. Asador giratorio sobre una hoguera.....	33
Figura 6. Horno de asado cerrado.....	34
Figura 7. Cocina a carbón y gas en el museo Minero de Lusatia.....	35
Figura 8. Asadores y Parrillas modernas.....	35
Figura 9. Propiedades de ladrillos refractarios.....	44
Figura 10. Spray de alta temperatura.....	49
Figura 11. Composición química de la pintura para altas temperaturas.....	50
Figura 12. Motor para el primer sistema.....	52
Figura 13. Tipos de transferencia de calor.....	58
Figura 14. Dirección de los cálculos en la cámara de combustión.....	58
Figura 15. Longitud dx en la cámara de combustión.....	59
Figura 16. Distribución termocuplas.....	78
Figura 17. Pantalla LCD con datos termocuplas.....	78
Figura 18. Posición manual del switch.....	79
Figura 19. Pulsadores y luces led.....	79
Figura 20. Posición automático en el switch.....	80
Figura 21. Posiciones del espiedo.....	81
Figura 22. Arduino Mega 2560 R3.....	82
Figura 23. Curvas tensión-temperatura de los diferentes tipos de termocuplas.....	85
Figura 24. Termocupla tipo J.....	86
Figura 25. Interruptor magneto térmico.....	87
Figura 26. Contactor Electromagnético.....	88
Figura 27. Relé de 5 voltios.....	89
Figura 28. Cantidad de carbón vs Cantidad de productos asados.....	92
Figura 29. Cantidad de carbón vegetal vs cantidad de pollos asados.....	93
Figura 30. Peso del pollo vs tiempo de asado.....	94
Figura 31. Peso de los productos cárnicos a ser asados.....	95
Figura 32. Cantidad de carbón para la prueba.....	96
Figura 33. Alimentos sobre la parrilla con el carbón al rojo vivo.....	96
Figura 34. Peso de carbón restante después del asado (250gramos).....	97
Figura 35. Pollos para el asado.....	98
Figura 36. Tiempo inicial de pollos en la espada.....	99
Figura 37. Pollos terminados.....	100
Figura 38. Peso del carbón sobrante después del asado de pollos enteros.....	100

RESUMEN

El cambio climático ha inclinado al mundo en busca de nuevas fuentes de energías renovables, pero en varios campos aún se mantiene el uso de las energías convencionales como el carbón vegetal; a fin de reducir el consumo del mismo en aplicaciones gastronómicas, el presente proyecto diseñó un sistema energético eficiente mediante el uso de aislantes térmicos: ladrillo refractario en la cámara de combustión y lana mineral de roca en la cámara de cocción, además de implementar una recirculación de calor. Como resultado, el equipo producto de este proyecto redujo el consumo de carbón hasta en un 68,28 % en filetes y un 32,58 % en pollos enteros. Este proyecto implantado a nivel comercial beneficiaría a todos quienes se dediquen a servicios de alimentación, así como al planeta al reducir el consumo de carbón vegetal.

PALABRAS CLAVES:

- **CARBÓN VEGETAL**
- **ENERGÍAS**
- **AISLANTES TÉRMICOS**
- **APLICACIONES GASTRONÓMICAS**
- **EFICIENCIA TÉRMICA**

ABSTRACT

Climate change make the world looking for new renewable energies sources, but some productive areas keep using conventional energies, like charcoal; To reduce the use of charcoal in gastronomic applications, this Project design an efficient energy system using termal insulations: firebrick in combustion chamber and mineral wool in the cooking chamber, also implements a warm recirculation. In fact, the system reduce the charcoal consumption 68,28 % when it cooks steaks, and 32,58 % when it cooks whole chickens. If this projects is implemented in a commercial level, all the people who have a bussines related with food service, will be benefited, also the planet, because its reduce the charcoal consumption.

KEYWORDS:

- **CHARCOAL**
- **ENERGIES**
- **THERMAL INSULATIONS**
- **GASTRONOMIC APLICATIONS**
- **THERMAL EFFICIENCY**

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Existen diferentes tipos de carbón, entre los que podemos encontrar el carbón mineral, carbón animal, carbón vegetal y el carbón industrial, siendo el carbón vegetal el primero en ser utilizado por el hombre, datando su uso desde el momento en el que se descubrió el fuego; siendo utilizado normalmente como combustible en la cocción de alimentos y de gran utilización en los países hispanoparlantes en braseros, hornos, etc.

En Ecuador, se utiliza ampliamente el carbón vegetal para la utilización en el asado de carnes rojas y blancas, tanto en asaderos, parrillas y varios negocios de alimentación; debido al sabor característico que obtienen los alimentos al ser cocinados y por resultar más saludables que los alimentos fritos.

El carbón vegetal presenta un poder calorífico que oscila entre 29000 Y 35000 kJ/kg, pero este poder no es aprovechado al máximo en los equipos comerciales que existen actualmente, ya que estos presentan gran cantidad de pérdidas de calor y de energía en su diseño y utilización. (Wikipedia, 2015)

En los cantones Quito y Rumiñahui, visitando diversos locales dedicados al negocio de asado de carnes rojas y blancas, se determinó que el consumo promedio de carbón vegetal a la semana oscila entre los 15 y 60 kg, dependiendo de la cantidad de alimento asado. Los datos de las encuestas se presentan en las tablas 1 y 2.

Tabla 1

Consumo promedio de carbón vegetal en asaderos de parrilladas.

Establecimiento	Entre Semana (diario)		Fin de Semana (diario)	
	Cantidad de Carbón Vegetal (kg)	Cantidad de alimentos (kg)	Cantidad de Carbón Vegetal (kg)	Cantidad de alimentos (Wikipedia, 2015) (kg)
“La Tablita del Tártaro”	45	64	60	80
“Parrilladas El Gordo”	30	50	45	75
“El Arriero”	25	26	50	52
“Sazón y Sabor”	15	32	30	64

Tabla 2.

Consumo promedio de carbón vegetal en asaderos de pollos.

Establecimiento	Entre Semana (diario)		Fin de Semana (diario)	
	Cantidad de Carbón Vegetal (kg)	Cantidad de pollos (unidad)	Cantidad de Carbón Vegetal (kg)	Cantidad de pollos (unidad)
“Koko - Riko”	15	20 (3.25 lbs)	45	60
“El Carbonero”	15	30 (7 lbs)	30	60
“Exquisito al Carbón”	15	30 (4 lbs)	17	35
“Korralito”	15	17 (4.5 lbs)	30	35
“Don Pato”	30	30 (4.25 lbs)	60	60

En estos locales no se aprovecha al máximo el carbón vegetal, ya que al tener equipos al espacio abierto y no mantenerse en constante uso las parrillas, se presentan sistemas ineficientes al generar calor que no es aprovechado.

Por otro lado se pudo evidenciar que las diferentes temperaturas de cocción de los diferentes alimentos ofrecidos, exigen que al menos una persona siempre se encuentre pendiente de la parrilla y en muchas ocasiones no se consigue la cocción óptima de los alimentos, ya que no se puede tener un proceso estandarizado para la cocción de alimentos por las diferentes propiedades y requerimientos de cada uno de ellos; así mismo por las diferencias que pueden presentar los diferentes tipos de parrillas que se utilizan comercialmente, lo que influye en tiempos y temperaturas de cocción.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Dentro de la gastronomía existen diversos procesos de cocción de alimentos, siendo uno de los más utilizados el proceso de asado, en el que se usa comúnmente el carbón vegetal.

En este proceso se utilizan equipos que presentan considerables pérdidas de calor y energía, lo que se ve reflejado en un mayor consumo de carbón vegetal, lo cual representa un problema de impacto ambiental.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema energético que permita el aprovechamiento eficiente de carbón vegetal, mediante consideraciones de nivel técnico, para ser usado en aplicaciones gastronómicas de asado de carnes rojas y blancas.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el dimensionamiento del asador.
- Construir el asador para la quema de carbón.
- Validar experimentalmente el equipo.

1.4 ALCANCE

Desarrollar los cálculos y consideraciones necesarias para llevar a cabo el diseño completo del sistema energético, aplicando conceptos de termodinámica, transferencia de calor, instrumentación, automatización, diseño y materiales.

Elaborar una memoria de cálculos con los resultados obtenidos, para que quede en posesión del laboratorio de Conversión de Energía y pueda ser utilizada como base para posteriores proyectos de similares características.

Diseñar, construir y operar el sistema energético en base a los cálculos realizados y las consideraciones escogidas previamente en el diseño del mismo.

Realizar un estudio económico para analizar la factibilidad de comercializar el equipo.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El mundo actual se encuentra preocupado por el calentamiento global, sus efectos y causas; buscando soluciones de prevenir que se vaya incrementando, generando que la mayoría de naciones, entre ellas la República del Ecuador, empiecen a aplicar políticas de conservación energética y medio ambientales. Por ende, como política de estado se busca reducir el consumo de combustibles no renovables y también la conservación del medio ambiente.

El carbón vegetal es obtenido de los árboles, por lo que su consumo representa un impacto ambiental al planeta, y al tener pérdidas de energía y calor, así como un aprovechamiento poco eficiente del mismo en aplicaciones de asado de alimentos, se está afectando al medio ambiente.

Por ese motivo en el presente proyecto se pretende diseñar y construir un sistema energético eficiente que nos permita eliminar estas pérdidas en los dispositivos que utilizan carbón vegetal como fuente de energía en aplicaciones gastronómicas y sentar las bases para que se puedan desarrollar otros sistemas con diferentes aplicaciones.

Por otro lado se busca facilitar el proceso de asado de alimentos mediante la automatización e instrumentación del sistema para poder reducir tiempos y obtener mejores resultados finales en los alimentos asados, representando ahorros a las empresas que utilizan este tipo de equipos.

CAPITULO 2

COCCIÓN DE ALIMENTOS: ASADO

2.1 INDUSTRIA DE ASADO DE ALIMENTOS

La industria del asado de alimentos en el Ecuador, utilizan en su mayoría el carbón vegetal como fuente de calor para la cocción de los mismos, en menor cantidad se utiliza leña o gas doméstico. Los establecimientos dedicados al asado de alimentos en el Ecuador, están considerados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) como establecimientos de “Actividades de restaurantes y servicios móvil de comidas”

Los datos del censo nacional económico realizado por el INEC en el año 2010, nos dan a conocer que cantidad de establecimientos dentro de esta categoría se encuentran en el país, provincia y cantón.

Tabla 3.

Número de establecimientos que utilizan carbón vegetal

ÁREA GEOGRÁFICA	NÚMERO ESTABLECIMIENTOS
ECUADOR	44 722
PICHINCHA	11 004
QUITO	9 825
RUMIÑAHUI	492

Fuente: (I.N.E.C., Censo Nacional Económico, 2010)

2.2 TIPOS DE COCCIÓN DE ALIMENTOS

Para hablar de los diferentes tipos de cocción de alimentos, se debe partir de la definición que se encuentra en el libro “Procesos de Cocina”, la cual nos indica que cocer un alimento implica exponer al mismo a una fuente de calor, para modificar o transformar su estructura en cuanto a su color, olor, sabor, volumen y química. En base a esta definición se tiene que los medios para transferir calor son (Mayor, Pérez, & Navarro, 2003):

- Aire caliente
- Calor sin aire
- Agua
- Cuerpos grasos
- Ondas
- Radiaciones eléctricas

Definidos los medios para transferir calor, los autores del libro indican tres tipos de sistemas de cocción de alimentos:

- Concentración.

Donde los elementos nutritivos se mantienen en el interior del producto.

- Expansión

En donde se presenta una pérdida relativa de los jugos nutritivos del alimento

- Mixto

Siendo el resultado de la combinación de los dos anteriores



Figura 1. Diferentes tipos de sistemas de cocción de alimentos

Fuente: (Mayor, Pérez, & Navarro, 2003)

2.2.1 COCCIÓN POR CONCENTRACIÓN

El principio de la cocción por concentración consiste en que mediante la exposición a temperaturas elevadas, los jugos nutritivos de los alimentos y su sabor, se conserven mayormente, esto debido a la coagulación de los proteínas de la superficie. (Mayor, Pérez, & Navarro, 2003)

- Saltear: cocer a fuego vivo pequeños trozos en una sartén con poca grasa.
- Asar: Cocer el alimento mediante la acción directa del calor en un ambiente seco.
- Emparrillar: Exposición de pequeñas piezas de alimento a una fuente de calor generada por una parrilla a temperaturas elevadas.
- Risolar: Dorar uniformemente el alimento, dando un interior tierno y un exterior crujiente.

- Freír: Cocer alimentos colocándolos en gran cantidad de grasa a una temperatura moderada.
- Cocer en un líquido hirviendo: Consiste en sumergir los alimentos a un líquido hirviendo.
- Cocer al horno: Se emplea un horno convencional para la cocción del alimento.
- Cocer al vapor: Consiste en aprovechar el gas, causado por la aplicación de calor a un líquido.

2.2.2 COCCIÓN POR EXPANSIÓN

Esta técnica está basada en el fenómeno de osmosis, donde se emplea una temperatura muy baja, logrando que los alimentos extraigan sus jugos, intercambiando el líquido de cocción con los jugos del alimento. (Mayor, Pérez, & Navarro, 2003)

- Partiendo de un líquido frío: Se cocina el alimento en un recipiente con líquido frío, logrando una cocción lenta, mezclando los jugos del alimento con el líquido.
- Gratinar: Implica dorar un alimento con o sin salsa y queso rallado o pan rallado, obteniendo una crujiente costra.
- Glasear: Se le otorga a la superficie del alimento un tono dorado y carameliza a la vez los alimentos.
- Confitar: Consiste en cocer a temperaturas entre alrededor de los 60°C, evitando llegar al punto de ebullición, dentro de grasa animal, vegetal o mixta.
- Rehogar, sudar o caer a blanco: Implica un intercambio entre la grasa y el alimento a fuego muy débil y tiempo muy lento, para evitar que los alimentos se doren y que los jugos sean adquiridos por la grasa.

- Pochar: Aplicado principalmente a las papas, friéndolas en primera instancia para ablandarlas y cuando se vayan a servir, friéndolas en una segunda ocasión para volverlas crujientes.

2.2.3 COCCIÓN MIXTA

Consiste en la combinación de las técnicas de concentración primero y luego la de expansión. (Mayor, Pérez, & Navarro, 2003)

- Brepear: Primero se dora el alimento para evitar la expulsión de los jugos de los alimentos y luego se cocina en un líquido con verduras.
- Estofar: Se realiza en un recipiente tapado, evitando que el aire entre o salga, permitiendo que los alimentos absorban las fragancias de los ingredientes utilizados en el proceso.
- Cocer al vacío: La primera cocción implica dorar el alimento y la segunda cocción se realiza en su propia salsa dentro de una bolsa sin la presencia de aire.

2.3 ASADO DE ALIMENTOS

El asado de alimentos es una técnica de cocción cuyo objetivo es lograr que la parte externa del alimento se encuentre crujiente y dorada, mientras la parte interna se encuentre bien cocinada y en ciertas ocasiones con jugos propios de la carne, sellados en el interior; esto se consigue mediante la exposición directa y gradual a una fuente de calor, sin la presencia de ningún líquido, como caldo, vino, etc. Este proceso se puede realizar mediante el uso de un horno, parrilla, barbacoa, plancha; a veces acompañado del uso de un espiedo. (Cocineando, s.f.)

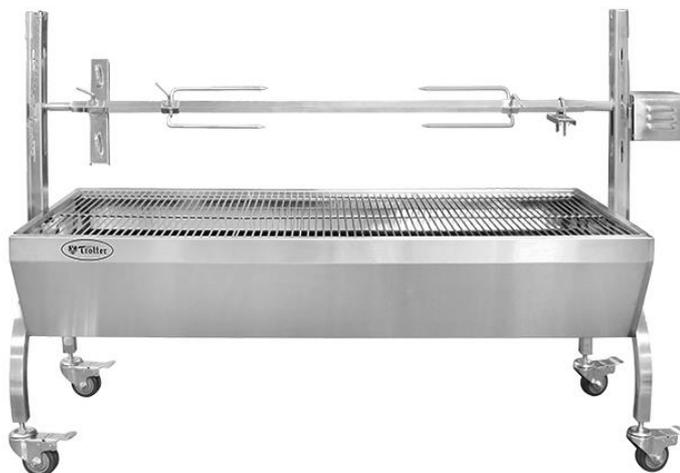


Figura 2. Parrilla con espiedo

Fuente: (Albintrotter, s.f.)

Con un enfoque en el método mediante el uso de parrilla con espiedo, el cual es un método de asado donde la cocción se realiza mediante radiación y conducción principalmente; donde solo una parte del calor se transmite mediante contacto, permitiendo cocinar porciones grandes de carne, ayudándose en ocasiones del espiedo.

Una parrilla para asado consiste de barras laterales, canales en v o de una red de alambre, para colocar sobre las mismas los alimentos y así exponerlos al calor del combustible, en este caso, carbón vegetal.

2.3.1 CONSIDERACIONES Y PROPIEDADES DE LAS COCCIÓN MEDIANTE ASADO

La característica principal del asado en parrilla o espiedo es que los alimentos se cocinan en su propia grasa, mediante la exposición a una fuente de calor directa, la misma que puede ser producida por:

- Electricidad
- Madera
- Carbón vegetal
- Carbón mineral
- Gas
- Etc.

En el caso de la utilización del carbón vegetal, se dice que es un combustible neutral, porque no transmite el gusto a los alimentos, sino que la propia grasa al caer sobre las brasas genera una especie de ahumado en la misma; considerándose que el mejor carbón es aquel que no lanza chispas al arder. Así mismo se recomienda encender el carbón una media hora antes de empezar la cocción de los alimentos, para que las brasa encuentren su punto perfecto para la cocción. (Fagor, s.f.)

Las brasas presentan un color característico, el cual indica el momento preciso para iniciar la cocción, se considera que durante el día las brasas deben tener un color gris, mientras en la noche se recomienda que presenten un color rojizo, asegurando esto la uniformidad del calor.

El efecto del asado sobre los alimentos se refleja en la eliminación de enzimas y microorganismos, además de que brinda a los alimentos nuevos aromas y texturas. En lo que se refiere a la textura, si el calentamiento sucede lentamente, se obtiene una costra exterior y mala cocción en el interior, mientras que si es muy lento se obtiene un alimento seco. Por otra parte, en un calentamiento excesivo se obtendrá un olor a humo o quemado. (Fagor, s.f.)

En el asado por parrilla, solo una parte se transmite por contacto, es decir, por conducción, que es la parte que está en contacto con la parrilla, y el resto se transmite por radiación.

2.3.2 TEMPERATURAS DE COCCIÓN

La mayoría de las personas involucradas en la industria del asado, se basan en su experiencia e intuición personal, pero no siempre se consiguen los resultados deseados, tanto en textura como en temperatura interna. Se deben considerar que para un mismo tipo de carne, se pueden necesitar diferentes tiempos y temperaturas, según el tipo de corte.

Se considera que en general el asado se debe desarrollar entre una temperatura de 180°C a 200°C. Pero ciertas fuentes de información presentan temperaturas internas detalladas para cada tipo de alimento, como se muestra en la siguiente tabla. (Álvarez, 2008)

Tabla 4.

Temperatura interna optima de diferentes alimentos.

	VACA	TERNERA	CERDO	POLLO	CORDERO
MUY POCO HECHO	48°C	54°C			57°C
POCO HECHO	55°C	60°C	70°C		60°C
MEDIO HECHO	60°C	68°C	77°C	82°C	65°C
MUY HECHO	70°C-75°C	75°C	85°C		75°C
CARNES PICADA	70°C	70°C	70°C	74°C	70°C

Fuente: (Álvarez, 2008)

Para verificar y controlar estas temperaturas, es recomendable utilizar sondas térmicas, siendo una gran ayuda para el asado.



Figura 3. Sondas térmicas.

Fuente: (Álvarez, 2008)

CAPITULO 3

CARBÓN VEGETAL

3.1 COMBUSTIBLES SOLIDOS

Un combustible sólido, al igual que cualquier otro combustible tiene la función de combustionarse para así generar un calor que puede ser aprovechado de cualquier forma dentro de cualquier campo de aplicación como puede ser el Industrial (fundiciones), o también para la cocción de alimentos, dentro de las aplicaciones más utilizadas a nivel mundial. (González, 2010)

Estos combustibles poseen un poder calórico que es la cantidad de calorías (calor) desprendidas en la combustión de este; siendo en teoría este el valor máximo de calor que puede ser aprovechado por la quema de cierta cantidad de combustible sólido.

El combustible sólido está conformado por Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Azufre, Agua y cenizas donde solamente el Carbón, Oxígeno, Hidrógeno y Azufre actúan como combustibles de donde se obtiene el calor, los otros componentes dan características y propiedades propias de cada tipo de combustible sólido que se detallarán más adelante. (González, 2010)

3.2 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL CARBÓN VEGETAL

El carbón vegetal es combustible sólido, frágil y poroso, de color negro, que contiene un alto contenido de carbono. Este combustible se lo obtiene mediante el calentamiento y la quema de madera y sus residuos vegetales a temperaturas

de entre 300°C a 800°C; de donde las propiedades más óptimas serán detalladas más adelante de una forma más detallada. (Wikipedia, 2015)

El poder calórico del carbón vegetal se encuentra en el rango de 28000 y 36000 Kj/Kg. Lo que depende del proceso de la extracción del combustible sólido y la calidad de la madera de la que se obtiene. Este poder calórico es la propiedad más importante que deberá ser aprovechado al máximo como objetivo del presente trabajo de investigación. (Wikipedia, 2015)

El carbón vegetal en su estructura en sí como combustible sólido, está comprendido por una serie de características que detallan las propiedades térmicas, que son:

3.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD

En el proceso de obtención del carbón, cuando recién sale del horno, el carbón tiene un contenido de humedad de menos del 1%. Inmediatamente después comienza a absorber humedad proveniente del aire, que sin la necesidad de mojarse puede alcanzar del 5 al 10% incluso para el carbón bien quemado. (Estudio FAO: Montes, 1983)

Cuando el carbón no ha sido quemado correctamente o cuando los ácidos piroleñosos y alquitranes solubles han sido retomados por el carbón por causa de que se mojaron por cualquier razón como la lluvia, su contenido de humedad puede ser de 15% o más. (Estudio FAO: Montes, 1983)

La humedad es un factor adulterante dentro de las propiedades del carbón vegetal, ya que mientras más húmedo se encuentre, el poder calórico o de calefacción disminuye. Es por esta razón que se debe almacenar y transportar el biocombustible bajo techo.

Las especificaciones de calidad que rigen al carbón vegetal oscilan en un porcentaje de humedad del 5 al 15% del peso bruto del biocombustible. Este

contenido se lo determina sacando una muestra y secando al horno, expresando en porcentaje comparado con el peso inicial en húmedo. (Estudio FAO: Montes, 1983)

Los carbones que tengan un gran contenido de humedad (más de 10%) tienen tendencia a desmenuzarse produciendo carbonilla, lo cual no es algo óptimo para cualquier aplicación, por lo que siempre hay que trabajar con un carbón relativamente seco. (Estudio FAO: Montes, 1983)

3.2.2 MATERIA VOLÁTIL

La materia volátil diversa del agua presente en el carbón vegetal está comprendido de residuos líquidos y alquitranosos que no pudieron ser eliminados completamente en el proceso de carbonización. Cuando este proceso es largo y se lo hace a altas temperaturas, los volátiles disminuyen, y cuando la temperatura de carbonización es baja y el tiempo en el horno es corto, el contenido de sustancia volátil es mayor.

La materia volátil en el carbón se ve reflejada en el rendimiento del mismo partiendo de un determinado peso de madera. A temperaturas bajas de carbonización (300°C) el rendimiento oscila en un 50%, a temperaturas de 500 a 600°C de carbonización, el rendimiento oscila alrededor de 30% debido a que la cantidad de materia volátil es baja, y a temperaturas muy altas de carbonización (1000°C) el rendimiento disminuye a un 2%. (Estudio FAO: Montes, 1983)

La cantidad de materia volátil en el carbón vegetal puede ir de 5 hasta un 40%, añadiendo que un carbón con poca cantidad de volátiles es difícil de encender pero presenta una combustión limpia, mientras que carbones con gran cantidad de volátiles, se enciende con facilidad pero al producirse la combustión genera mucho humo. Lo ideal para un combustible comercial podría ser con un porcentaje de volátiles de un 30%, contenido de volatilidad neta (sin humedad).

3.2.3 CONTENIDO DE CARBONO FIJO

El contenido de carbono de un carbón vegetal se encuentre en el rango de un 50 hasta un 95%, donde el contenido del resto de componentes se restan del 100%, quedando de esta forma el resultante como el contenido puro de carbono dentro del carbón. (Estudio FAO: Montes, 1983)

El usuario es el responsable de encontrar un balance entre el carácter quebradizo y contenido de carbono fijo y la mayor fuerza, bajo contenido de carbono fijo y superior en cantidad de materia volátil.

3.2.4 CONTENIDO DE CENIZAS

Las cenizas son determinadas calentando una muestra hasta obtener el rojo vivo con acceso al aire, para quemar completamente todo el carbón, quedando de esta forma únicamente los residuos, que son conocidos como ceniza, que está compuesta de sustancias minerales, como arcilla y óxidos de calcio y magnesio, que se encuentran presentes en la madera originalmente recogidos como contaminantes del suelo.

El contenido de ceniza del carbón vegetal varía en el rango del 0.5 al 5%, dependiendo del tipo de madera, especie, cantidad de corteza incluida en el proceso de carbonización y la cantidad de contaminación con tierra y arena. Como referencia se tiene que un buen carbón vegetal tiene un porcentaje de ceniza del 3% (Estudio FAO: Montes, 1983)

3.2.5 ANÁLISIS TÍPICO DEL CARBÓN VEGETAL

Como ilustración y ejemplo de tipos de carbón vegetal disponible comercialmente, la tabla 1 muestra varios de las composiciones de carbones para muestras al azar de diferentes tipos de maderas y varios métodos de carbonización; sabiendo que, por lo general, cualquier técnica de carbonización genera carbón vegetal dentro de los límites comerciales establecidos.

Tabla 5.

Composición de varios tipos de carbón vegetal.

Especies leñosas	Método de producción	Contenido de humedad %	Cenizas %	Materia volátil	Carbono fijo	Densidad Kg/m3 aparente		Valor calórico bruto (Kj/Kg) en base horno seco	Observaciones
						en bruto	pulverizado		
Dakama	fosa de tierra	7,5	1,4	16,9	74,2	314	708	32.410	Combustible pulverizado para hornos rotatorios 1/
Wallaba	"	6,9	1,3	14,7	77,1	261	563	35.580	" 1/
Kautaballi	"	6,6	3,0	24,8	65,6	290	596	29.990	" 1/
Mezcla de latifoliadas tropicales	"	5,4	8,9	17,1	68,6				Carbonilla fina de baja calidad 1/
"	"	5,4	1,2	23,6	69,8				Carbón vegetal doméstico 1/
Wallaba	Parva de tierra	5,9	1,3	8,5	84,2				Muestra bien quemada 1/
"	"	5,8	0,7	46,0	47,6				Muestra medianamente quemada 1/
Roble	Horno metálico transportable	3,5	2,1	13,3	81,1			32.500	2/
Cáscaras de coco	"	4,0	1,5	13,5	83,0			30.140	4/
Eucalyptus saligna	Retorta	5,1	2,6	25,8	66,8				3/

Fuente: (Estudio FAO: Montes, 1983)

3.2.6 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas incluidas dentro del carbón vegetal hacen referencia a la producción del equipo donde se encuentre el combustible, mientras que las propiedades químicas (tratadas hasta el momento) hacen referencia a la cantidad de carbón necesario para que el equipo lleve a cabo su objetivo, es así que las propiedades físicas tratan sobre la resistencia a la compresión y la capacidad de fraccionamiento esencialmente; donde estas son fundamentales en la producción de equipos donde se necesite un gran volumen de carbón (hornos de función con carbón vegetal), donde se necesita que el carbón por su propio peso no se comprima o rompa y así evitar estancamientos.

Por esta razón es que estas propiedades no serán tomadas en cuenta en el presente trabajo de investigación por las dimensiones considerablemente inferiores y porque este trabajo busca una reducción en el uso de carbón y de ninguna manera habrá este fenómeno.

3.3 PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE CARBÓN VEGETAL EN EL MUNDO, LATINOAMÉRICA Y ECUADOR

3.3.1 CONSUMO DE CARBÓN EN LATINOAMÉRICA Y EL MUNDO

El consumo de carbón vegetal está basado en la demanda de la población mundial, indiferentemente al lugar y al tipo de población. Es por eso que la Organización de las Naciones Unidas (NN.UU) ha definido un consumo energético por persona (per caput), promedio y de esta manera se tiene un consumo de leña necesario para producir esta cantidad de carbón necesario y suplir con la demanda energética presentada en la tabla 6. (Bouille & Gallo, 1993)

Tabla 6.

La leña en el Consumo Mundial de Energía en 1978

	Población (millones)	Leña Total a/ (millones m ³)	Consumo per caput %	Energía equiva- lente en leña b/ (millones de gi- gajoules)	Energía comercial c/	Leña (porcentaje del total) d/
Mundo	4.258	1.566	0.37	14.720	256.594	5.4
Mundo desarrollado	1.147	145	0.13	1.363	205.115	0.7
Economías de mercado	775	54	0.07	508	145.148	0.3
Economías de planificación centralizada	372	91	0.24	855	59.967	1.4
Mundo en desarrollo	3.111	1.421	0.46	13.357	51.479	20.6
África	415	353	0.85	3.318	2.415	57.9
Países menos desarrollados	138	163	1.18	1.532	255	85.7
Asia	2.347	796	0.34	7.478	37.558	16.6
Países menos desarrollados	130	34	0.26	319	180	63.9
Economías de planificación centralizada	1.010	220	0.22	2.068	24.048	7.9
América Latina	349	272	0.78	2.557	11.306	18.4

Fuente: (N.N.U.U., 1978)

a/ Incluye madera para carbón vegetal

b/ IM³ = 9,4 gigajoules

c/ IMT carbón = 29,3 gigajoules

d/ No incluyen otras fuentes de energía no comercial importantes en otras regiones

Es así mismo como menciona las Naciones Unidas (NN.UU) que el consumo por habitante promedio de carbón vegetal puede estimarse entre 60 y 120Kg por año. Este valor aplica en función de la eficiencia del horno y fogón de cocina, aunque como aproximación se debería estimar en 100Kg, cifra que se obtiene a partir de 700Kg de madera seca. (N.N.U.U., 1978)

Haciendo una comparación, estos 100Kg de carbón vegetal, tomando en consideración las pérdidas por transporte y desmenuzado, equivale a unos 300Kg de madera seca al aire libre, es por valores como estos que surge la necesidad de equipos económicos de gran eficiencia térmica. (N.N.U.U., 1978)

Entonces el consumo mundial de carbón vegetal anual aproximadamente será 100 Kg del biocombustible por el número de personas en el mundo, esto quiere decir los 7.000 millones de personas, según el cálculo de la Organización de Naciones Unidas (ONU) el 30 de octubre de 2011, lo que da un consumo mundial de 700 millones de toneladas de carbón vegetal anualmente. (N.N.U.U., 1978)

3.3.2 CONSUMO MUNDIAL DE CARBÓN VEGETAL EN EL SECTOR COMERCIAL

La información sobre consumos de leña y carbón vegetal en este sector es prácticamente desconocida, siendo necesaria la realización de una encuesta exhaustiva para obtener estimaciones aceptables. Por lo que estos valores se los estimará para Ecuador más adelante en el presente trabajo de investigación.

3.3.3 CONSUMO MUNDIAL DE CARBÓN VEGETAL EN EL SECTOR URBANO

La leña y el carbón vegetal en sí, pueden llegar a representar un consumo muy importante a nivel urbano en la mayoría de países en vías de desarrollo. Pero hacer un detalle de cuanto carbón se consume en los hogares a nivel

mundial o continental es imposible, por lo que se debe recurrir a encuestas directas o datos reales de cada país para obtener esta información.

Es por eso que esta información de igual manera será detallada para Ecuador, lugar de elaboración del presente trabajo de investigación

3.3.4 CONSUMO Y PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL EN ECUADOR

Al igual que en el resto del mundo, Ecuador tiene una producción de carbón vegetal en base a la demanda, pero en este caso la mayor cantidad de carbón producido es para el consumo nacional, más no con fines de exportar, y de igual manera las importaciones son casi nulas.

En el país se tiene varias técnicas para cocinar alimentos, que se detallan a continuación en la tabla 7.

Tabla 7.

Combustibles utilizados para cocinar alimentos en Ecuador.

COMBUSTIBLE	CASOS (familias)	%
Gas	3.466.737	91,0
Leña, Carbón	259.216	6,8
No cocina	67.412	1,8
Electricidad	16.223	0,4
Residuos vegetales y/o animales	515	0,0
Otro (Gasolina, kerex, diésel)	445	0,0
<u>TOTAL</u>	<u>3.810.548</u>	<u>100,0</u>

Fuente: (I.N.E.C., Censo Nacional Económico, 2010)

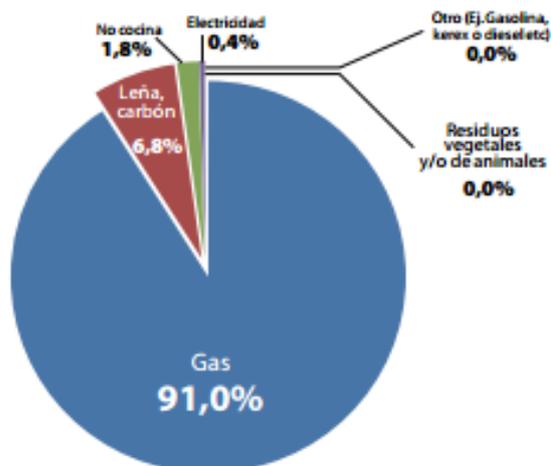


Figura 4. Combustibles utilizados para cocinar alimentos en Ecuador.

Fuente: (I.N.E.C., Censo Nacional Económico, 2010)

Es así como se tiene según el INEC que 259.216 familias ecuatorianas requieren carbón vegetal o leña para la cocción de alimentos, lo que equivale al 6,8% de las familias del Ecuador.

Para hablar ahora del consumo de carbón hay que hacer referencia a lo que nos dice el Instituto Nacional de Energía (I.N.E.) en 1982 que afirma lo siguiente para regiones rurales:

Tabla 8.

Consumo de leña en regiones rurales.

REGIONES RURALES	CONSUMO (Kg/día/per)	LEÑA
Sierra	2,1	
Costa	1,9	
Oriente	2,9	
Galápagos	1,9	

Fuente: (I.N.E., 1982)

Con estos valores como ya se ha dicho que la proporción para obtener carbón a partir de la leña es de 3 a 1 aproximadamente nos da los siguientes resultados, para regiones rurales:

Tabla 9.

Consumo de carbón vegetal en regiones rurales.

REGIÓN RURAL	CONSUMO CARBÓN VEGETAL (Kg/día/persona)
Sierra	0,7
Costa	0,63
Oriente	0,96
Galápagos	0,63
Promedio	0,73

El INE en 1982 también proporciona un volumen de leña consumido en regiones rurales, regiones urbanas e industrial por lo que se procede a realizar los cálculos en base a la siguiente tabla:

Tabla 10.

Consumo de leña en Ecuador.

SECTOR	CONSUMO POR AÑO (m3)
Urbano	568782
Rural	3110873
Industrial	1000000

Fuente: (I.N.E., 1982)

Gracias a estos valores se puede concluir que en sectores urbanos el consumo de leña es el 18,28% de lo que se consume en zonas rurales.

Con estos resultados se procede a hacer el cálculo del consumo de carbón en zonas urbanas:

Tabla 11.

Consumo de leña en regiones urbanas.

REGIONES URBANAS	CONSUMO (Kg/día/per)	LEÑA
Sierra	0,383	
Costa	0,347	
Oriente	0,530	
Galápagos	0,347	

Con las mismas consideraciones que se hizo para las zonas rurales se procede a transformar esta leña en su equivalente a carbón vegetal:

Tabla 12.

Consumo carbón vegetal en la región urbana.

REGIÓN URBANA	CONSUMO CARBÓN VEGETAL (Kg/día/persona)
Sierra	0,127
Costa	0,115
Oriente	0,176
Galápagos	0,115
Promedio	0,133

Con este último valor promedio como referencia, ya que este equipo está destinado básicamente a zonas urbanas y/o industriales, se asocia con las familias que utilizan carbón vegetal como combustible para la cocción de alimentos obteniendo los siguientes valores:

Tabla 13.

Consumo de carbón en base a número de familias urbanas.

CONSUMO CARBÓN (Kg/día/persona)	FAMILIAS (APROX)	N° PERSONAS / FAMILIA (promedio)	CARBÓN CONSUMIDO (Kg/día)
0,113	180.000	3,78	76.885

Fuente: (I.N.E.C., Censo de población y vivienda, 2010)

Entonces en el Ecuador aproximadamente se necesita una producción de 76 toneladas de Carbón Vegetal diaria para suplir con las necesidades de los hogares urbanos.

3.4 IMPACTO AMBIENTAL DEL CONSUMO DE CARBÓN VEGETAL

Como ya se ha venido mencionando el carbón vegetal se lo extrae a partir de la carbonización de la madera, dando una razón de por cada 100Kg de carbón vegetal se necesita aproximadamente 300Kg de madera seca al aire libre considerando pérdidas, de donde se genera un gran impacto ambiental debido a la tala de árboles.

Para hacer una referencia mundial del impacto ambiental generado por la tala de árboles en el mundo, se tomará como referencia los valores que se tienen de Ecuador, que vendría a ser una tendencia o un valor referencial.

Según el INE en 1982 el Ecuador dispone de madera de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 14.

Madera disponible en Ecuador en 1982.

TIPO DE BOSQUE	SUPERFICIE (10^6 m ²)	CANTIDAD (10^6 m ³)
Latifoliado tropical húmedo	8,5	425
Latifoliado tropical seco	0,4	20
Latifoliado subtropical húmedo	2,8	140
Manglares y afines	0,12	6
Bosque implantado	0,05	7,5
TOTALES	11,87	598,5

Fuente: (I.N.E., 1982)

El censo realizado en 1982 dio como resultado que en el país se extraen unos $1,4 \times 10^6$ m³ de madera rolliza destinada a la industria y además se estima unos $1,5 \times 10^6$ m³ de madera que no se registra, o sea 3×10^6 m³, lo que constituye al 35% de la madera explotada en el Ecuador. Además se estima que el 40% del total de madera explotada es utilizado como leña o para carbonizarla y convertirla en carbón vegetal, lo que es unos $3,43 \times 10^6$ m³. El otro 25% se estima que se desperdicia. (I.N.E., 1982)

De acuerdo al análisis realizado, se explotan anualmente unas 171.500 ha (hectáreas) de bosque nativo, esto equivale a $8,57 \times 10^6$ m³ de madera. La implantación de nuevos bosques avanza muy lentamente por lo que no equilibra la deforestación existente. (I.N.E., 1982)

En el informe realizado por el INE-BANCO MUNDIAL en 1988, se dice que el Ecuador sufre un agudo problema de explotación de sus bosques,

especialmente en 5 provincias que no alcanzan a sembrar la cantidad de árboles que se talan, por lo que provoca una acelerada explotación debido al uso como energía de esta madera.

Es así como a pesar que los ministerios de energía han ido implementado planes para la reducción de la tala de árboles y mejorar el aprovechamiento energético, no se ha podido equilibrar la deforestación con la implantación de nuevos bosques, es así como el aire cada vez empeora, las temperaturas ambientales son cada vez más altas debido al calentamiento global, de esta manera se explica como la producción masiva de carbón vegetal afecta directamente al ambiente debido a la cantidad de árboles que se necesitan para producir y suplir con la demanda de carbón vegetal nacional y mundial.

CAPITULO 4

ESTADO DEL ARTE SOBRE EQUIPOS DE ASADO DE ALIMENTOS

4.1 ESTUDIOS SOBRE APROVECHAMIENTO EFICIENTE DE CARBÓN VEGETAL

El aprovechamiento eficiente del carbón vegetal está estrechamente relacionado con la calidad de la madera de la cual es obtenido y la aplicación a la cual va a ser expuesto el biocombustible.

La eficiencia del carbón vegetal refiere a la cantidad máxima aprovechada del poder calórico disponible, para en este caso asar productos cárnicos, pero esta eficiencia tiene que ver mucho del equipo que sea utilizado y de un diseño adecuado, el cual es propio de este trabajo de investigación.

Estudios acerca las prácticas tradicionales para la fabricación de carbón vegetal a nivel mundial señala que el tipo de bosque preferido para para producir el biocombustible es el bosque de sabana seco.

Este tipo de bosques se los prefiere ya que generalmente tienen una madera densa, de lento crecimiento y altamente lignificada, obteniendo así un carbón altamente eficiente con fines industriales y comerciales.

En busca de árboles alternativos que se pueden reforestar y contrarrestar la tala de estos, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), ha sugerido el uso de varios tipos de eucaliptos, obteniendo leña y un carbón vegetal de excelentes propiedades térmicas de igual manera en la mayoría de estaciones del año, ya que esta madera se seca rápido y no se desperdicia mucho por el apareamiento de hongos e insectos. (Estudio FAO: Montes, 1983)

4.1.1 CALIDAD DEL CARBÓN VEGETAL

En el mercado por lo general el carbón vegetal está enfocado con una visión doméstica, es decir de no muy alta calidad, esto se debe a que el consumidor no exige una gran calidad en el producto, aunque este va compensado por parte del fabricante con el precio que es relativamente bajo.

Por otra parte los medianos y grandes usuarios, que utilizan el carbón vegetal a gran escala, ya sea para la industria o como para el asado de alimentos, ya conocen sea por experiencia, por estudios sobre eficiencia del combustible, o por balances energéticos realizados, las propiedades de varios tipos de carbón vegetal; por lo que estos consumidores exigen al proveedor y/o fabricante un carbón de una calidad (poder calórico, humedad, etc.) establecidos para poder llevar a cabo sus actividades y garantizar un producto final de calidad en un tiempo requerido. (Estudio FAO: Montes, 1983)

4.1.2 EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN DEL CARBÓN VEGETAL

Hay que tomar siempre a consideración, de que por más que se tenga un carbón vegetal de buena calidad su quemado o combustión tiene que ser eficiente para obtener buenos resultados. Este principio es fundamentado en un diseño eficiente de empresas que realizan altos hornos, cúlulas, etc. Pero para uso doméstico e incluso hornos para asado industriales no contemplan un diseño para el aprovechamiento eficiente del calor que se obtiene del carbón, siendo este el objetivo principal de este trabajo de investigación, para de esta forma lograr reducir tiempos de cocción y Kilogramos de carbón consumidos por día. (Estudio FAO: Montes, 1983)

Como meta óptima de este trabajo sería aprovechar el 100% del calor generado por el combustible y que este llegue a las carnes que se están asando.

Lo cual está lejos de la realidad, lo que se tiene realmente en equipos bien diseñados es una eficiencia térmica del 30% como máximo, lo que significa que el 70% del calor generado por carbón se pierde inútilmente.

Teóricamente es posible aumentar la eficiencia de estos equipos de cocina, aumentando la transferencia de calor desde el carbón hasta los alimentos, pero muchos de estos aspectos aumentarían considerablemente los costos del equipo. Es así como nace la necesidad de hacer un equilibrio entre el diseño y el costo, para obtener la mayor eficiencia térmica posible, en concordancia con una instalación simple, diseñada ingenierilmente y no tan costosa respecto a sus beneficios, que pueda llegar a ser utilizada por gran cantidad de personas y restaurantes (asaderos) que utilicen carbón vegetal. (Estudio FAO: Montes, 1983)

El combustible sólido hablando ya de su combustión en sí, reacciona con el oxígeno del aire en un calor rojo esplendente, formado de esta forma un gas incoloro de monóxido de carbono, que este a su vez posteriormente se quema con una llama azul con más oxígeno, produciendo así el dióxido de carbono. Debido al calor generado por estas dos reacciones, el gas caliente o CO₂ deja la zona de combustión, liberando teóricamente la mayor parte de calor que será transferida por convección. La temperatura de este gas decae a medida que se transfiere el calor y se dispersa en el lugar donde se esté asando.

El carbón vegetal transfiere una buena cantidad de su calor a los recipientes de cocina o alimentos, por medio de radiación desde la cama de combustión ardiente, por lo que los alimentos y la parrilla deben ver el lecho ardiente para recoger calor radiante, factor tomado para el diseño del equipo.

4.2 DESARROLLO DE LOS ASADORES

En tiempos prehistóricos, el hombre preparaba sus alimentos sobre una hoguera utilizando los utensilios y herramientas de cocina más rudimentarios como recipientes de piedra para albergar líquido, un mortero y su mano para pulverizar sales y hierbas, y pedazos de huesos o piedras para cortar la carnes que asaban.

Alrededor del año 700 d.C., se dio una gran transformación en la cocina debido a la dificultad de sobrevivir en la Edad media, muchas familias se empezaron a agrupar y la cocina se convirtió en el lugar más grande y concurrido de las casas del entonces por el calor que ofrecía el fuego. (Minue, 2011)

Uno de los artículos culinarios más valiosos de ese entonces era el asador giratorio, el cual permanecería como el principal utensilio de cocina por casi mil años, hasta que, a fines del siglo XVIII, apareció la revolucionaria idea de asar carnes en un horno.



Figura 5. Asador giratorio sobre una hoguera

Fuente: (Minue, 2011)

En el año 1630, el inventor británico John Sibthroe patentó una versión metálica de gran tamaño de este dispositivo, alimentado con carbón, combustible que no tardaría en sustituir a la leña en los hogares. Sin embargo, la idea de cocer los alimentos sobre un fuego encerrado en vez de hacerlo sobre la llamas o entre ellas, se abrió paso con lentitud, y el mismo proceso de cocción era todavía más lento, ya que resultaba necesario calentar un elemento intermedio, la superficie de la cocina o parrilla. (Minue, 2011)



Figura 6. Horno de asado cerrado.

Fuente: (Minue, 2011)

En el año 1802, George Bodley, patentó una versión mejorada que la de Sibthroe en hierro forjado, con calentamiento uniforme sobre la superficie y con un sistema de escapes, que funcionaba con carbón, siendo este el prototipo base para las cocinas modernas. En ese mismo año, el alemán Frederick Albert Winson diseñó la primera cocina a gas de la historia. (Minue, 2011)



Figura 7. Cocina a carbón y gas en el museo Minero de Lusatia

Fuente: (Minue, 2011)

A partir de este punto la cocina y el asador de productos cárnicos tomaron diferentes caminos ya que ambos preparan alimentos de maneras distintas, En la actualidad para el asado de productos cárnicos existe una gran variedad de equipos que cumplen con esta función, desde equipo caseros pequeños hasta hornos industriales para el asado de pollos enteros, mucho depende del presupuesto, la cantidad de productos que se desea asar, el espacio que se disponga para el equipo y la eficiencia que se desea para diseñar o comprar uno.



Figura 8. Asadores y Parrillas modernas

Fuente: (Minue, 2011)

CAPÍTULO 5

DISEÑO TÉRMICO DEL SISTEMA ENERGÉTICO

Dentro de la Ingeniería, un aspecto fundamental es el diseño térmico, lo que quiere decir que se busca tener la mayor eficiencia térmica con la menor cantidad de pérdidas dentro del sistema, es por eso que se debe tener en claro los materiales y criterios de selección para realizar un diseño eficiente, que en el caso del presente trabajo de investigación se busca utilizar la menor cantidad de carbón vegetal, utilizar todo el calor generado, y que llegue toda esta energía a los productos cárnicos.

5.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MATERIALES

Los criterios en la selección de materiales están basados en la experiencia por parte de los desarrolladores del presente trabajo de investigación, de docentes de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE y en conocimientos adquiridos a lo largo de la formación académica recibida en mencionada carrera.

5.1.1 PLANCHAS DE ACERO

Tabla 15.

Matriz de decisión selección de planchas de acero.

Material de la plancha de acero	DISPONIBILIDAD	COSTO	RESISTENCIA MECÁNICA	RESISTENCIA A LA CORROSIÓN	RESISTENCIA A LAS ALTAS TEMPERATURAS	TOTAL
AISI 304	2	1	4	4	4	15
ASTM A-36	4	4	4	2	4	18

Toda la estructura o la cubierta del equipo estará hecha de planchas de acero A-36 incluso la zona de la cámara de combustión, esto se debe a que como es un equipo térmico, estará expuesto a altas temperaturas, por lo que se requiere un material que resista altas temperaturas (sobre los 550°C), cambios térmicos bruscos y exposición a elevadas temperaturas por largos períodos de tiempo, entonces el acero cumple con este requerimiento que es el más importante.

5.1.2 LADRILLO REFRACTARIO

Al tener como objetivo el presente trabajo de investigación obtener la mayor eficiencia térmica posible, el uso de ladrillo refractario recubriendo la cámara de combustión es un criterio válido ya que por la geometría del diseño de esta zona, el ladrillo aporta con una emisividad propia del ladrillo que llegará a los productos cárnicos, teniendo de esta forma una cocción más eficiente.

Otro factor influyente en la selección de este material es que sirve como aislante térmico, esto quiere decir que el ladrillo alrededor de la cámara de

combustión, evitará que el calor se escape por conducción, reteniendo así todo el calor para que sea llevado por convección a los productos cárnicos.

5.1.3 AISLANTE TÉRMICO (LANA DE ROCA)

Tabla 16.

Matriz de decisión de aislante térmico

Tipo de Aislante térmico	DISPONIBILIDAD	COSTO	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	VARIOS ESPESORES	RESISTENCIA A ALTAS TEMPERATURAS	RESISTENTE AL FUEGO	TOTAL
Lana de vidrio	3	3	4	3	4	2	16
Lana de Roca	4	4	4	3	4	4	19
Lana de borrego	2	3	3	2	4	1	13

Teniendo el mismo criterio de selección que el ladrillo refractario como aislante térmico se selecciona este material con el fin de evitar de igual manera que el calor se escape de la estructura en sí, buscando que mantener una temperatura constante dentro del horno evitando al máximo las pérdidas energéticas gracias a su conductividad térmica baja.

Otro factor importante que se debe tener en cuenta al momento que se debe elegir un aislante térmico, es la disponibilidad en el mercado y la reacción que este tiene con el fuego, es por eso que la lana de roca cumple con la condición de resistir al fuego directo (propiedades detalladas en la sección 5.2.3 del presente trabajo de investigación) y existe en el mercado nacional, por estas razones este aislante térmico es idóneo para este sistema energético.

5.1.4 ACERO NEGRO

Tabla 17.

Matriz de decisión de acero

Tipo de Acero	DISPONIBILIDAD	COSTO	RESISTENCIA MECÁNICA	PARA ALIMENTOS	RESISTENCIA A ALTAS TEMPERATURAS	TOTAL
AISI 1020	3	3	4	1	4	15
ACERO NEGRO	3	4	4	2	4	18
AISI 304	2	2	3	4	4	15

Este material se lo utilizará en la parrilla, esto es debido a que estará sometida a una temperatura de unos 500°C aproximadamente, por lo que se necesita un material que soporte estas temperaturas sin cambiar sus propiedades ni afecte a los productos cárnicos que estarán sobre la parrilla. Al tener temperaturas inferiores a la temperatura de austenización, y al no tener cambios bruscos en la temperatura del acero, las propiedades de este material se mantendrán intactas así las carnes tendrán un sabor e higiene correcta.

Para la espada también se va a tener este mismo material, ya que tiene los mismo criterios de selección, únicamente lo extra que se tiene es que la espada debe tener 3 tipos hélices en su diseño con el fin de que los pollos al momento de rotar, estos no deslicen y el calor llegue a todas las zonas

Otro criterio que influye en la hora de seleccionar un material, es la disponibilidad en el mercado, y este material es común en la ciudad de Quito y muy utilizado en parrillas dentro del mercado nacional.

5.1.5 VIDRIO TEMPLADO

Debido a que en el sistema energético existe una compuerta, es necesario poder ver lo que está sucediendo dentro del equipo, es por eso que es lógico pensar que se necesita un vidrio para este fin.

Una vez clara esta consideración y que dentro del sistema energético se va a estar manejando una temperatura de unos 200 a 300°C en el aire se debe poner un vidrio que resista el calor, es por esto que para ver desde afuera hacia dentro del equipo sin abrir la compuerta se necesita vidrio templado, ya que soporta altas temperaturas.

Otro criterio que respalda la selección de este material para esta aplicación es que es resistente a los impactos, es por eso que ante cualquier accidente, el vidrio soportará, y de no ser así, este se rompe en pequeñas partes evitando así que el o los operadores del equipo o personas cercanas sufran algún daño físico.

5.1.6 PINTURA ANTICORROSIVA PARA ALTAS TEMPERATURAS

Este equipo al ser un sistema energético, como ya se ha mencionado va a estar expuesto a altas temperaturas y por ende a que las partes metálicas se oxiden lo cual es perjudicial para los alimentos aunque la oxidación sea externa. Por esta razón se necesita una pintura que evite la corrosión y resista las temperaturas de trabajo del equipo.

5.2 PROPIEDADES DE MATERIALES SELECCIONADOS

Una vez claros los criterios de selección es importante respaldar estos con las propiedades de los materiales con la finalidad de conocer cuál será su comportamiento al poner en funcionamiento al sistema energético, buscando siempre optimizar recursos sin afectar la calidad de los productos cárnicos que van a ser asados ni el funcionamiento general del equipo.

5.2.1 PLANCHAS DE ACERO

Como ya se hizo mención en el literal 5.1.1 de este trabajo de investigación, estas planchas de acero son de acero A-36, principalmente por la disponibilidad en el mercado y porque al ser acero resiste altas temperaturas.

El acero A-36, como todo acero cuenta con propiedades propias de cada uno de ellos, que permiten pronosticar su comportamiento en cualquier situación las cuales son mecánicas, químicas y térmicas las que se van a hacer referencia con el fin de corroborar que las propiedades respalden el criterio de selección del material.

Tabla 18.

Composición química del acero A-36.

Elemento	C	Cu	Fe	Mn	P	S
%	0,25	0,02	99	0,8-1,2	0,04 Max	0,05 Max

Fuente: (Mangonon, 2001)

En la siguiente tabla se hace referencia a las propiedades mecánicas que posee en acero A-36 en pruebas estandarizadas.

Tabla 19.**Propiedades mecánicas del acero A-36.**

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Densidad	7850	Kg/m ³
Límite de fluencia	32-36 (250-280)	Ksi (MPa)
Resistencia a la tensión	58-80 (400-550)	Ksi (Mpa)
% de elongación (mínimo)	20	%
Módulo de elasticidad	29000	Ksi

Fuente: (Mangonon, 2001)

La siguiente tabla muestra las propiedades térmicas de un acero al carbono (A-36) y entre esas la conductividad térmica para ciertos valores de temperatura establecidos.

Tabla 20.**Propiedades térmicas del acero A-36.**

Tipo de acero	% C	Calor específico (J/kg°K)	Conductividad (W/m°K)	Difusividad $\alpha \times 10^5$ m ² /seg	Conductividad térmica en (W/m°C) a la temperatura en °C						
					-100	0	100	200	300	400	600
A36	<0,5	465	54	1,474	55	52	48	45	42	35	31

Fuente: (Mangonon, 2001)

Por las características ya descritas, el acero AISI A-36 es un material bastante utilizado industrialmente, por lo que se encuentra en varias aplicaciones en la

vida cotidiana. Este acero se lo encuentra en herramientas, utensilios, equipos mecánicos, en maquinaria en general y en estructuras de todo tipo.

El acero A-36 es la base de construcciones de barcos, del mundo automotriz chapas metálicas, etc. Siendo por esta razón que se tiene datos fiables del comportamiento de este material en muchas condiciones de trabajo.

5.2.1.1 Espesores

El acero A-36 tiene varias aplicaciones, teniendo entre las principales a las tuberías y planchas para hacer perfiles para estructuras, donde para estas aplicaciones existe un rango de espesores que se detallan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 21.

Aplicaciones según el espesor de la plancha A-36.

ESPESOR (mm)	APLICACIÓN
2-4,5	Estructuras de baja resistencia, tubería soldada, piezas no críticas y que no se expongan a altos esfuerzos de puentes, construcciones y edificios
5-13	Construcción de puentes, estructuras metálicas

Fuente: (Obras Web, s.f.)

De esta manera con estas propiedades y sabiendo que la estructura general del presente trabajo de investigación no va a estar sujeto a grandes cargas, el espesor de 1 mm es el ideal ya que el equipo estará firme y resistirá las altas temperaturas.

5.2.2 LADRILLO REFRACTARIO

El ladrillo refractario es un material que se lo utiliza muy comúnmente en la construcción de chimeneas y de hornos como revestimiento. Este material se lo usa porque tiene propiedades aislantes, junto con la capacidad de almacenar calor. A continuación se presenta una tabla con las propiedades del ladrillo refractario.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES		LADRILLOS REFRACTARIOS ASILANTES				
		JM 23 125 0.5L 1260	JM 26 140 0.8L 1430	JM 28 150 0.9L 1540	JM 30 160 1.0L 1650	JM 32 170 1.2L 1760
• Clasificación ISO 2245						
• Temperatura de clasificación	°C					
Características a temperatura ambiente (23°C/50% humedad relativa)						
• Densidad media (ASTM C-134-84)	kg/m ³	480	800	890	1020	1250
• Módulo de rotura (ASTM C-93-84)	MPa	1.0	1.5	1.8	2.1	2.1
• Resistencia a la compresión (ASTM C-93-84)	MPa	1.2	1.6	2.1	2.2	3.5
Prestaciones a alta temperatura						
• Contracción lineal permanente inmerso durante 24 h a la temperatura de (ASTM C-210)						
1230°C	%	0.2	-	-	-	-
1400°C	%	-	0.1	-	-	-
1510°C	%	-	-	0.4	-	-
1620°C	%	-	-	-	0.8	-
1730°C	%	-	-	-	-	0.6
• Expansión lineal reversible máxima	%	0.5	0.7	0.8	0.9	1.1
• Resistencia a la compresión en caliente durante 90 min (% de deformación) (ASTM C-16)						
1100°C at 0.034 MPa (5psi)	%	0.1	-	-	-	-
1260°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	0.2	0.1	-	-
1320°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	-	0.2	0.1	-
1370°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	-	-	0.5	0.2
• Conductividad térmica (ASTM C-182) a la temperatura media de:						
400°C	W/m.K	0.12	0.25	0.30	0.38	0.49
600°C	W/m.K	0.14	0.27	0.32	0.39	0.50
800°C	W/m.K	0.17	0.30	0.34	0.40	0.51
1000°C	W/m.K	0.19	0.33	0.36	0.41	0.53
1200°C	W/m.K	-	0.35	0.38	0.42	0.56
1400°C	W/m.K	-	-	-	-	0.60
• Calor específico 1000°C	kJ/kg.K	1.05	1.10	1.10	1.10	1.10
• Composición química (sobre producto calcinado) (tr = trazas)						
Al ₂ O ₃	%	37.0	58.0	67.1	73.4	77.0
SiO ₂	%	44.4	39.1	31.0	25.1	21.5
Fe ₂ O ₃	%	0.7	0.7	0.6	0.5	0.3
TiO ₂	%	1.2	0.1	0.1	0.1	tr
CaO	%	15.2	0.1	0.1	tr	tr
MgO	%	0.3	0.2	0.1	tr	0.1
Na ₂ O + K ₂ O	%	1.1	1.7	0.9	0.9	0.9

Figura 9. Propiedades de ladrillos refractarios

Fuente: (Universidad de Oviedo, 2010)

Es así como están establecidas las propiedades de los ladrillos refractarios incluso según normas ASTM.

Se ha seleccionado el ladrillo JM-26 140-08L, según la clasificación ISO 2245, debido a que es lo más cercano a lo que se tiene en el mercado ecuatoriano, por lo que esta tabla nos sirve como referencia internacional. De esta manera en la siguiente tabla se detalla el resumen las propiedades del ladrillo que irá en el sistema energético, que serán necesarias para los cálculos de eficiencias.

Tabla 22.

Resumen propiedades del ladrillo refractario.

Material	Densidad (Kg/m ³)	Calor específico (J/Kg*K) @ 1000°C	Conductividad técnica (W/m*K)	Difusividad térmica (m ² /s) (x10 ⁻⁶)
Ladrillo Refractario	800	1.1	0.27	306.818

$$\alpha = \frac{\kappa}{\rho c_p}$$

5.2.3 LANA DE ROCA

La lana de roca que se va a utilizar en este trabajo de investigación es un aislante de fibras inorgánicas entremezcladas entre sí. Está compuesto por un 98% de materiales inorgánicos (roca) y solo el 2% de material orgánico que corresponde a un poco de aceite y resina para que el aislamiento repela el agua y reduzca el polvo. (Calorcol)

La lana de roca es un material que va a ser de gran ayuda para el fin del presente trabajo de investigación ya que posee una excelente calidad y una alta eficiencia térmica, que aportará al sistema energético en objetivos vitales como:

- Ahorro de energía (combustible)
- Optimización de procesos y recursos
- Protección contra incendios, seguridad y confort industrial
- Resistentes al fuego, no produce humo.

En la siguiente tabla se especifican las características técnicas de la lana de roca.

Tabla 23.

Características técnicas de la lana de vidrio.

Temperatura de trabajo	750 °C
Densidad	100 Kg/m ³
Combustibilidad	100% incombustible
Norma	ASTM Norma 592-80 MFBI
Dimensiones	2400mm x 910mm x 50,8mm

Fuente: (Atymi)

Una vez especificadas las propiedades del material a continuación se muestra las características de la lana de roca (Atymi):

- Gran capacidad de soportar picos de temperatura
- No corrosiva (Contenido de cloruros máximo de 1.46 ppm)
- Resistente a la humedad
- Resistente a la compresión
- Amigable con el medio ambiente (PH neutro, no contiene CFC ni HCFC)
- Fácil de manejar, ajustar e instalar

5.2.4 ACERO NEGRO

El acero negro o hierro negro es conocido como el acero básico o corriente, el que sale directamente del proceso de fundición sin sufrir ningún tratamiento térmico como: Galvanizado, Inoxidable, Zincado, Lacado, etc.

El acero negro es comúnmente utilizado en tubería debido a que este acero tiene una capa de óxido negro en la superficie, que es producto de que cuando el perfil es forjado se lo sella con un aceite protector para evitar la corrosión. Gracias a esta propiedad se requiere poco mantenimiento y es utilizado en varias aplicaciones como: servicios de agua, vapor y gas. (QuimiNet, 2011)

En la siguiente tabla se hace referencia a las propiedades mecánicas que posee en acero negro o hierro negro en pruebas estandarizadas.

Tabla 24.

Propiedades mecánicas del acero negro

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Densidad	7850	Kg/m ³
Límite de fluencia	227	Mpa
Resistencia a la tensión	340	Mpa
% de elongación (mínimo)	24	%
Módulo de elasticidad	200	GPa

Fuente: (QuimiNet, 2011)

Las propiedades térmicas de este acero son similares a las del acero AISI A-36 (ver tabla 18).

5.2.5 VIDRIO TEMPLADO

Un vidrio templado comparado con un vidrio normal presenta las siguientes propiedades:

- Mayor resistencia al choque térmico
- Mayor resistencia a la flexión, tracción y torsión
- Mayor resistencia al impacto.

Los vidrios una vez templados ya no se los puede mecanizar, hay que hacer cualquier trabajo previo antes de templarlo, es por eso que hay que tener las dimensiones establecidas, agujeros, etc. La siguiente tabla hace referencia a las propiedades del vidrio templado.

Tabla 25.

Propiedades del vidrio templado.

Resistencia a la tensión (N/mm ²)	Probabilidad de fractura (%)	Densidad (g/cm ³)	Choque Térmico (°C)
50	5	2.5	60 a 240

Fuente: (Duglass, s.f.)

En cuanto a las propiedades de fractura, los vidrios templados se fragmentan en numerosas piezas pequeñas, sin puntas para evitar cualquier corte. La norma UNE-EN 12150 “*Vidrio para la edificación. Vidrio de silicato sodocálcico de seguridad templado térmicamente*” especifica los criterios de fragmentación mínima de los vidrios destinados a la construcción. (Duglass, s.f.)

5.2.6 PINTURA ANTICORROSIVA PARA ALTAS TEMPERATURAS



Figura 10. Spray de alta temperatura.

Como se hizo mención en el literal 5.1.6 del presente trabajo de investigación, se necesita una pintura que resista altas temperaturas y que evite que el acero se oxide. Por estas razones se seleccionó la pintura de la figura 9 para que cumpla con los requerimientos mencionados. Esta pintura posee las siguientes propiedades (Rust-Oleum, 2014):

- Resiste temperaturas de hasta 650°C
- Aplicar para parrillas, estufas de leña, radiadores, motores u otros elementos metálicos
- Protege al metal contra la corrosión

- Para uso interno y externo
- Alta durabilidad
- NO exponer directamente al fuego

La siguiente tabla contiene la composición química de la pintura para altas temperaturas.

Composición/Información sobre los componentes						
Nombre químico	N°- CAS	Weight % Less Than	ACGIH TLV- TWA	ACGIH TLV- STEL	OSHA PEL-TWA	OSHA PEL- CEILING
Acetona	67-64-1	45.0	500 ppm	750 ppm	1000 ppm	N.E.
Gas De Petroleo Liquificado	68476-86-8	25.0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Xileno	1330-20-7	15.0	100 ppm	150 ppm	100 ppm	N.E.
Etilobenceno	100-41-4	5.0	20 ppm	125 ppm	100 ppm	N.E.
Pigment	Propietario	5.0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Talco	14807-96-6	5.0	2 mg/m3	N.E.	0.1 mg/m3 [Respirable]	N.E.
Cromito de Cobre Negro	68186-91-4	5.0	0.5 mg/m3	N.E.	0.5 mg/m3	N.E.
Solvente Aromatico	64742-95-6	5.0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
1,2,4-Trimetilobenceno	95-63-6	5.0	25 ppm	N.E.	N.E.	N.E.
Negro de Carbón	1333-86-4	1.0	3 mg/m3	N.E.	3.5 mg/m3	N.E.

Figura 11. Composición química de la pintura para altas temperaturas.

Fuente: (Rust-Oleum, 2014)

5.3 PARÁMETROS DE DISEÑO Y SELECCIÓN:

Después de haber hecho el análisis de los materiales que van a estar presentes en el presente diseño del sistema energético hay que empezar con el acople de los elementos mecánicos y eléctricos que van a hacer posible que los sistemas de rotación y elevación funcionen de una manera correcta con el objetivo de hacer lo más eficiente posible el equipo.

5.3.1 MOTORES Y CAJA REDUCTORAS

En el diseño del sistema energético se van a requerir dos motores, el primero será con el fin de hacer rotar los pollos o cualquier alimento que se coloque en la espada, mediante el giro de esta para que la cocción sea uniforme en toda la superficie, y el segundo para que la espada suba y baje respecto a la cámara de combustión, buscando de esta manera mantener una temperatura uniforme en la carne en función del calor que emita el carbón vegetal.

Para el sistema rotativo se requiere un giro lento con la finalidad que el pollo reciba el calor por convección y radiación por un lapso de tiempo por zonas sin quemarse. Para esto se estima que el giro deberá ser de 3 rpm (revoluciones por minuto) aproximadamente.

Con este criterio hay dos soluciones, la primera es tener un motoreductor para que accione este sistema y el otro es un motor y una caja reductora, ambos motores cumplirán con la función, pero por disponibilidad en el mercado (Quito) se elige el motor con caja reductora.



Figura 12. Motor para el primer sistema.

En la siguiente tabla se detalla las características del motor más relevantes.

Tabla 26.

Características del motor del primer sistema.

POTENCIA (HP)	VOLTAJE (V)	AMPERAJE (A)	FRECUENCIA (Hz)	RPM
0.25	110 / 220	5.0 / 2.5	60	1730

Con estos datos se desea bajar las 1730 RPM del motor por lo que se escoge una caja reductora que se detalla a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 27.

Características caja reductora del primer sistema.

RELACIÓN	ACOPLE	UNIÓN MOTOR	SALIDA
40:1	Polea simple / doble	Banda	Volante con banda

Considerando también que en las poleas también existe una reducción o aumento de velocidad, se detalla a continuación los diámetros de las poleas utilizadas en este sistema para determinar la velocidad de rotación real, utilizando diámetros de poleas según la transmisión que sea necesaria para llegar a 2.5 o 3 RPM que es lo ideal para una cocción uniforme y el calor vaya asando la carne.

Tabla 28.

Diámetros y RPM de poleas del primer sistema.

	Polea salida motor	Polea entrada caja reductora	Volante salida caja reductora	Volante conectado a la espada
Diámetro (φ)cm	5	15	6	34
RPM	1730	576.67	14.41	2.54

De esta manera se tiene unas 2.5 RPM a la salida aproximadamente, velocidad que será transmitida por banda hacia el volante que contiene la espada que hará girar a los pollos a mencionada velocidad constante.

Para el segundo sistema se requiere bajar y elevar la espada donde se encuentran rotando los pollos, para lo cual se toma en cuenta las siguientes consideraciones de los objetos a ser movidos:

Tabla 29.

Pesos de elementos a mover en segundo sistema.

OBJETO	MASA (Kg)
Pollos	9
Espada	8
Chumaceras x4	5
Estructura base del primer motor	24
Motor y caja reductora	18
Bandas x2	4
TOTAL	68 Kilogramos

Entonces para la selección del motor se tiene nuevamente dos opciones como en el sistema anterior, pero esta vez es obligatorio la selección del motor con caja reductora debido a que el motoreductor solo tiene torque en un solo sentido de giro, lo que fue evidenciado en las pruebas y no se obtuvo los resultados. Por esto se selecciona el mismo motor que fue escogido para el primer sistema.

De igual manera se va requerir una caja reductora para que el “sube y baja” del sistema sea lento y controlado, por lo que la misma caja reductora del sistema anterior va a ser útil para cumplir esta función. De esta manera el motor con la

caja van a estar unidos por una banda y el volante de la caja reductora (salida) también va a estar conectado por banda a un eje con una polea simple que accionará el sistema.

Tabla 30.

Características de la caja reductora del segundo sistema.

RELACIÓN	ACOPLE	UNIÓN MOTOR	SALIDA
40:1	Polea simple / doble	Banda	Volante con banda

La siguiente tabla muestra los diámetros de las poleas utilizadas, que han sido hechas para que con sus relaciones de transmisión se obtenga entre 5 y 6 RPM con el fin que el movimiento lineal sea lento y controlado.

Tabla 31.

Diámetros y RPM de poleas del segundo sistema.

	Polea salida motor	Polea entrada caja reductora	Polea salida caja reductora	Volante conectado al eje
Diámetro (φ)cm	5	15	6	15
RPM	1730	576.67	14.41	5.76

Con estos valores se tiene que el eje va a rotar a 5.76RPM y se va necesitar subir y bajar es de **667,08 N** (Newton) multiplicando la masa por la gravedad (Fuerza). A continuación se comprueba la potencia requerida por el motor para elevar este sistema con la potencia del motor seleccionado.

$$P_1 := 667.08 \cdot N$$

$$d := 0.03 \cdot m$$

$$r := 5.76 \cdot rpm$$

$$w := r = 0.603 \frac{1}{s}$$

$$M := P_1 \cdot d = 20.012 \text{ J}$$

$$\text{Potencia} := M \cdot w = 0.016 \cdot hp$$

$$fs := 0.60$$

$$Pot_{\text{final}} := \frac{\text{Potencia}}{fs} = 0.027 \cdot hp$$

DONDE:

P1: Peso

d: distancia (radio del eje más cadena)

r: rpm

M: Momento

fs: factor de seguridad

w: velocidad angular

De esta forma el motor seleccionado con potencia de **0.25HP** que se encuentra fácilmente en el mercado que cumple con los requerimientos para llevar a cabo la operación de subir y bajar la espada con los pollos.

Tabla 32.

Características del motor del segundo sistema.

POTENCIA (HP)	VOLTAJE (V)	AMPERAJE (A)	FRECUENCIA (Hz)	RPM
0.25	110 / 220	5.0 / 2.5	60	1730

5.3.2 CÁMARA DE COMBUSTIÓN (QUEMADOR)

Una vez que se tiene claros las propiedades de los materiales y los criterios de selección y diseño de la cámara de combustión, es importante tener una memoria de cálculos donde se detalle el fenómeno térmico que está ocurriendo en el sistema energético y las pérdidas que se tiene, es por eso que a continuación se detallan las pérdidas energéticas que va a tener el equipo del presente trabajo de investigación.

En la siguiente memoria de cálculos se presenta el flujo de calor existente en las diversas zonas del sistema energético, presentando así pérdidas de una forma comparativa con un equipo común y el presente equipo diseñado ingenierilmente tomando en cuenta los tres tipos de transferencia de calor existentes que se describen en la siguiente imagen.

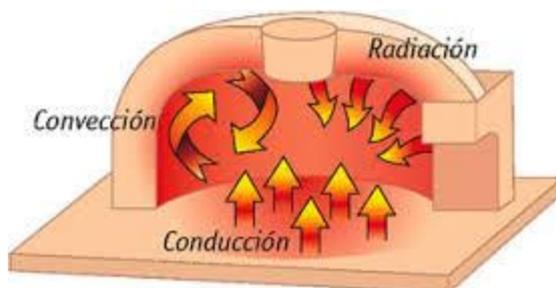


Figura 13. Tipos de transferencia de calor.

Fuente: (Salazar, s.f.)

Empezando entonces los cálculos desde adentro hacia afuera, es decir desde la cámara de combustión hasta la pared externa.

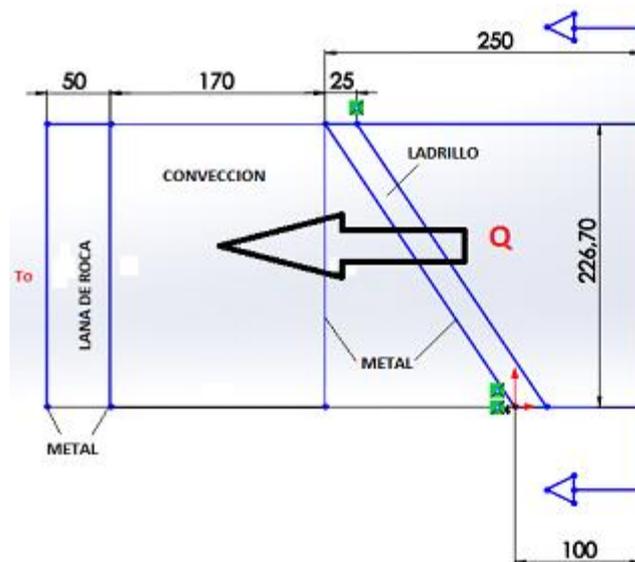


Figura 14. Dirección de los cálculos en la cámara de combustión.

$$A_{\text{trapecio}} := \frac{(\text{Base} + \text{base}) \cdot \text{altura}}{2}$$

$$\text{Area} := \frac{x^2 - 0.2^2}{2.66}$$

"Área en función de "dx" y la altura"

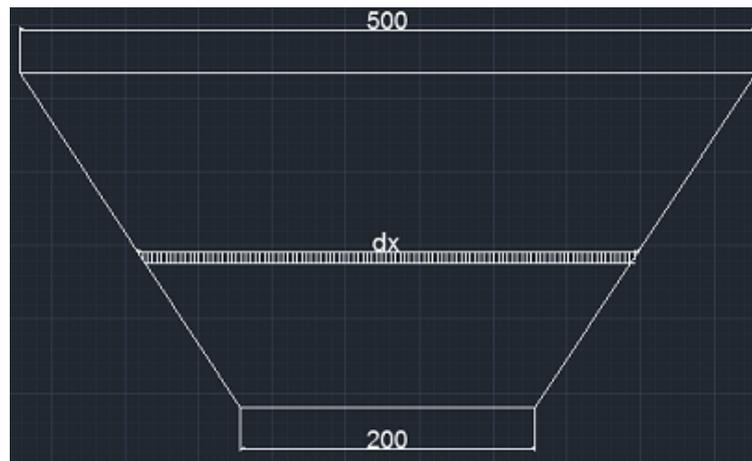


Figura 15. Longitud dx en la cámara de combustión.

$$\text{espesor} := 1 \cdot \text{mm}$$

$$t_{i1} := 550$$

$$t_3 := 350$$

$$k_{\text{ladrillo}} := 0.27 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{C}}$$

$$k_{\text{metal}} := 50 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{C}}$$

$$\text{lim}_{\text{inferior}} := 0.201$$

$$\text{lim}_{\text{superior}} := 0.500$$

Donde:

espesor = espesor planchas de acero

t_{i1} = temperatura del carbón al rojo vivo

t_3 = temperatura de la pared de metal detrás del ladrillo

k = coeficientes de conducción del ladrillo y acero

$\lim_{inferior}$ = límite inferior del diferencial de "x" en metros

$\lim_{superior}$ = límite superior del diferencial de "x" en metros

Transferencia de calor por conducción 1:

$$Q_{cond} := \frac{dT}{\frac{e_{ladrillo}}{k_{ladrillo}} + \frac{e_{acero}}{k_{metal}}}$$

Ecuación 1. Transferencia de calor en serie de 2 elementos (ladrillo, metal)

Fuente: (Cengel, Transferencia de calor y masa, 2007)

$$Q_{cond} := 12A \cdot dT$$

$$0 := \left(Q \cdot \int_{\lim_{inferior}}^{\lim_{superior}} \frac{1}{Area} dx \right) + \int_{t_{i1}}^{t_3} 12 dt \text{ solve} \rightarrow 70.123537500844013452$$

$$Q_1 := 70.12 \cdot W$$

Transferencia de calor por convección 1:

$$h_o := 18 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot C}$$

$$\text{Base} := 0.5 \cdot m$$

$$\text{base} := 0.2 \cdot m$$

$$h_2 := 0.21 \cdot m$$

$$t_{3\text{conv}} := 350 \cdot C$$

$$t_{4\text{conv}} := 200 \cdot C$$

Donde:

h_o = coeficiente de convección del aire caliente

Base = Base mayor

base = base menor

h_2 = altura inclinada del trapecio

$t_{3\text{conv}}$ = temperatura inicial de convección natural

$t_{4\text{conv}}$ = temperatura final de convección natural en la pared vertical de acero

$$\text{Area}_2 := \left(\frac{\text{Base} + \text{base}}{2} \right) \cdot h_2 = 0.074 m^2$$

$$\Delta T_2 := t_{3\text{conv}} - t_{4\text{conv}} = 150 C$$

$$Q_2 := h_o \cdot \text{Area}_2 \cdot \Delta T_2 = 198.45 W$$

Ecuación 2. Flujo de calor por convección.

Fuente: (Cengel, Transferencia de calor y masa, 2007)

Transferencia de calor por conducción 2:

$$t_5 := 195 \cdot \text{C}$$

$$\Delta T_3 := t_5 - t_{4\text{conv}} = -5 \text{C}$$

$$h_1 := 0.17 \cdot \text{m}$$

$$\text{prof} := 0.5 \cdot \text{m}$$

Donde:

h_1 = altura de la pared vertical

prof = profundidad de la pared vertical

$$\text{Area}_3 := h_1 \cdot \text{prof} = 0.085 \text{m}^2$$

$$Q_3 := \frac{-k_{\text{metal}} \cdot \text{Area}_3 \cdot \Delta T_3}{\text{espesor}} = 21.25 \cdot \text{kW}$$

Ecuación 3. Flujo de calor por conducción.

Fuente: (Cengel, Transferencia de calor y masa, 2007)

Transferencia de calor por convección 2:

$$t_6 := 150 \cdot \text{C}$$

$$\Delta T_4 := t_5 - t_6 = 45 \text{ C}$$

$$Q_4 := h_o \cdot \text{Area}_3 \cdot \Delta T_4 = 68.85 \text{ W} \quad (\text{Ec. 2})$$

Transferencia de calor por conducción 3:

$$t_7 := 40 \cdot \text{C}$$

$$\Delta T_5 := t_7 - t_6 = -110 \text{ C}$$

$$e_{\text{lana}} := 0.025 \cdot \text{m}$$

$$k_{\text{lana}} := 0.05 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{C}}$$

Donde:

e_{lana} = espesor de la capa de lana de roca

k_{lana} = coeficiente de conducción de la lana de roca

$$Q_5 := \frac{-\Delta T_5}{\left(\frac{\text{espesor}}{k_{\text{metal}} \cdot \text{Area}_3} \right) + \left(\frac{e_{\text{lana}}}{k_{\text{lana}} \cdot \text{Area}_3} \right)} = 18.699 \text{ W} \quad (\text{Ec. 1})$$

Transferencia de calor por convección 3:

$$t_0 := 22 \cdot \text{C}$$

$$\Delta T_6 := t_7 - t_0 = 18 \text{C}$$

$$Q_6 := h_0 \cdot \text{Area}_3 \cdot \Delta T_6 = 27.54 \text{ W} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

t_0 = temperatura ambiente

Flujo de calor total:

$$Q_t := Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = 21.634 \cdot \text{kW}$$

A continuación se pone a consideración el flujo de calor de cada sección y el flujo de calor total, considerando que no hay aislamiento térmico (lana de roca) ni ladrillo refractario, para poder hacer una comparación entre el mismo sistema energético con y sin los aislantes correspondientes.

$$A_{\text{trapecio}} := \frac{(\text{Base} + \text{base}) \cdot \text{altura}}{2}$$

$$\text{Area} := \frac{x^2 - 0.2^2}{2.66} \quad \text{"Área en función de "dx" y la altura"}$$

$$t_{i1} := 550$$

$$t_3 := 350$$

$$k_{\text{ladrillo}} := 0.27 \cdot \frac{W}{m \cdot C}$$

$$k_{\text{metal}} := 50 \cdot \frac{W}{m \cdot C}$$

$$\text{lim}_{\text{inferior}} := 0.201 \text{ m}$$

$$\text{lim}_{\text{superior}} := 0.500 \text{ m}$$

donde:

espesor = espesor planchas de acero

t_{i1} = temperatura del carbón al rojo vivo

t₃ = temperatura de la pared de metal detrás del ladrillo

k = coeficientes de conducción del ladrillo y acero

Transferencia de calor por conducción 1:

$$Q_{\text{cond}} := -k_{\text{metal}} \cdot \text{Area1} \cdot \frac{dt}{dx}$$

Ec 1: Transferencia de calor en serie de 2 elementos (ladrillo, metal), Transferencia de Calor Incropera.

$$0 := \left(Q \cdot \int_{\text{lim}_{\text{inferior}}}^{\text{lim}_{\text{superior}}} \frac{1}{\text{Area}} dx \right) + \int_{t_{i1}}^{t_3} 50 dt \text{ solve} \rightarrow 292.18140625351672271$$

$$Q_1 := 292.18 \cdot W$$

Transferencia de calor por convección 1:

$$h_o := 18 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot C}$$

$$\text{Base} := 0.5 \cdot m$$

$$\text{base} := 0.2 \cdot m$$

$$h_2 := 0.21 \cdot m$$

$$t_{3\text{conv}} := 350 \cdot C$$

$$t_{4\text{conv}} := 200 \cdot C$$

Donde:

ho = coeficiente de convección del aire caliente

Base = Base mayor

base = base menor

h2 = altura inclinada del trapecio

t3conv = temperatura inicial de convección natural

t4conv = temperatura final de convección natural en la pared vertical de acero

$$\text{Area}_2 := \left(\frac{\text{Base} + \text{base}}{2} \right) \cdot h_2 = 0.074 \text{ m}^2$$

$$\Delta T_2 := t_{3\text{conv}} - t_{4\text{conv}} = 150 \text{ C}$$

$$Q_2 := h_0 \cdot \text{Area}_2 \cdot \Delta T_2 = 198.45 \text{ W}$$

Ec 2. Flujo de calor por convección, Transferencia de Calor Cengel.

Transferencia de calor por conducción 2:

$$t_5 := 195 \cdot \text{C}$$

$$\Delta T_3 := t_5 - t_{4\text{conv}} = -5 \text{ C}$$

$$h_1 := 0.17 \cdot \text{m}$$

$$\text{prof} := 0.5 \cdot \text{m}$$

Donde:

h_1 = altura de la pared vertical
 prof = profundidad de la pared vertical

$$\text{Area}_3 := h_1 \cdot \text{prof} = 0.085 \text{ m}^2$$

$$Q_3 := \frac{-k_{\text{metal}} \cdot \text{Area}_3 \cdot \Delta T_3}{\text{espesor}} = 21.25 \cdot \text{kW}$$

Ec 3 Flujo de calor por conducción. Transferencia de Calor Cengel

Transferencia de calor por convección 2:

$$t_6 := 100 \cdot \text{C}$$

$$\Delta T_4 := t_5 - t_6 = 95 \text{ C}$$

$$Q_4 := h_0 \cdot \text{Area}_3 \cdot \Delta T_4 = 145.35 \text{ W}$$

Ec 2

Transferencia de calor por conducción 3:

$$t_7 := 88 \cdot \text{C}$$

$$\Delta T_5 := t_7 - t_6 = -12 \text{ C}$$

$$e_{\text{lana}} := 0.025 \cdot \text{m}$$

$$k_{\text{lana}} := 0.05 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{C}}$$

Donde:

e_{lana} = espesor de la capa de lana de roca

k_{lana} = coeficiente de conducción de la lana de roca

$$Q_5 := -k_{\text{metal}} \cdot \text{Area}_3 \cdot \frac{\Delta T_5}{\text{espesor}} = 51 \cdot \text{kW}$$

Ec. 1

Transferencia de calor por convección 3:

$$t_0 := 22 \cdot \text{C}$$

$$\Delta T_6 := t_7 - t_0 = 66 \text{ C}$$

$$Q_6 := h_0 \cdot \text{Area}_3 \cdot \Delta T_6 = 100.98 \text{ W}$$

Ec. 2

Flujo de calor total:

$$Q_t := Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = 72.987 \cdot \text{kW}$$

Ahora se procede a analizar las pérdidas en el otro sentido, para completar el balance energético.

Empezando entonces nuevamente los cálculos desde adentro hacia afuera, es decir desde la cámara de combustión hasta la pared externa, y tomando en cuenta los mismos gráficos anteriores y las mismas unidades se tiene:

$$A_{\text{trapecio}} := \frac{(\text{Base} + \text{base}) \cdot \text{altura}}{2}$$

$$\text{Area} := \frac{x^2 - 0.7^2}{2.66}$$

Área en función de x y la altura

$$\text{espesor} := 1 \cdot \text{mm}$$

$$t_1 := 550$$

$$t_3 := 350$$

$$k_{\text{ladrillo}} := 0.27 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$k_{\text{metal}} := 50 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\text{lim}_{\text{inferior}} := 0.701$$

$$\text{lim}_{\text{superior}} := 1.00$$

Transferencia de calor por conducción 1:

$$0 := \left(Q \cdot \int_{\text{lim}_{\text{inferior}}}^{\text{lim}_{\text{superior}}} \frac{1}{\text{Area}} dx \right) + \int_{t_{i1}}^{t_3} 12 dt \text{ solve} \rightarrow 229.23409121662493456$$

$$Q_1 := 229.234 \cdot W$$

Transferencia de calor por convección:

$$h_0 := 18 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot C}$$

$$\text{Base} := 1 \cdot m$$

$$\text{base} := 0.7 \cdot m$$

$$h_2 := 0.21 \cdot m$$

$$t_{3\text{conv}} := 350 \cdot C$$

$$t_{4\text{conv}} := 170 \cdot C$$

$$\text{Area}_2 := \left(\frac{\text{Base} + \text{base}}{2} \right) \cdot h_2$$

$$\Delta T_2 := t_{3\text{conv}} - t_{4\text{conv}} = 180 \cdot C$$

$$Q_2 := h_0 \cdot \text{Area}_2 \cdot \Delta T_2 = 578.34 W$$

Transferencia de calor por conducción 2:

$$t_5 := 195 \cdot \text{C}$$

$$\Delta T_3 := t_5 - t_{4\text{conv}} = -5 \text{C}$$

$$k := 50 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{C}}$$

$$h_1 := 0.17 \cdot \text{m}$$

$$\text{ancho} := 1 \cdot \text{m}$$

$$\text{Area}_3 := h_1 \cdot \text{ancho} = 0.17 \text{m}^2$$

$$Q_3 := \frac{-k \cdot \text{Area}_3 \cdot \Delta T_3}{\text{espesor}} = 42.5 \cdot \text{kW}$$

Transferencia de calor por convección 2:

$$t_6 := 65 \cdot \text{C}$$

$$\Delta T_4 := t_5 - t_6 = 100 \text{ C}$$

$$Q_4 := h_0 \cdot \text{Area}_3 \cdot \Delta T_4 = 306 \text{ W}$$

Transferencia de calor por conducción 3:

$$t_7 := 60 \cdot \text{C}$$

$$\Delta T_5 := t_7 - t_6 = -5 \text{ C}$$

$$Q_5 := \frac{-k \cdot \text{Area}_3 \cdot \Delta T_5}{\text{espesor}} = 42.5 \cdot \text{kW}$$

Transferencia de calor por convección 3:

$$t_0 := 22 \cdot \text{C}$$

$$\Delta T_6 := t_7 - t_0 = 38 \text{ C}$$

$$Q_6 := h_0 \cdot \text{Area}_3 \cdot \Delta T_6$$

Flujo de calor total:

$$Q_t := Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = 86.23 \cdot \text{kW}$$

Al igual que en la primera parte a continuación se pone a consideración los flujos de calor parcial y total del sistema energético sin aislamiento:

$$A_{\text{trapecio}} := \frac{(\text{Base} + \text{base}) \cdot \text{altura}}{2}$$

$$\text{Area} := \frac{x^2 - 0.7^2}{2.66} \quad \text{Area en función de x y la altura}$$

$$\text{espesor} := 1 \cdot \text{mm}$$

$$t_{i1} := 550$$

$$t_3 := 350$$

$$k_{\text{metal}} := 50 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\text{lim}_{\text{inferior}} := 0.701 \quad \text{m}$$

$$\text{lim}_{\text{superior}} := 1.00 \quad \text{m}$$

Transferencia de calor por conducción 1:

$$0 := \left(Q \cdot \int_{\text{lim}_{\text{inferior}}}^{\text{lim}_{\text{superior}}} \frac{1}{\text{Area}} dx \right) + \int_{t_{i1}}^{t_3} 50 dt \quad \text{solve} \rightarrow 955.14204673593722732$$

$$Q_1 := 955.14 \cdot W$$

Transferencia de calor por convección :

$$h_0 := 18 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot C}$$

$$\text{Base} := 1 \cdot m$$

$$\text{base} := 0.7 \cdot m$$

$$h_2 := 0.21 \cdot m$$

$$t_{3\text{conv}} := 350 \cdot C$$

$$t_{4\text{conv}} := 150 \cdot C$$

$$\text{Area}_2 := \left(\frac{\text{Base} + \text{base}}{2} \right) \cdot h_2$$

$$\Delta T_2 := t_{3\text{conv}} - t_{4\text{conv}} = 200 \cdot C$$

$$Q_2 := h_0 \cdot \text{Area}_2 \cdot \Delta T_2 = 642.6 \cdot W$$

Transferencia de calor por conducción 2:

$$t_5 := 145 \cdot C$$

$$\Delta T_3 := t_5 - t_{4\text{conv}} = -5 \cdot C$$

$$k := 50 \cdot \frac{W}{m \cdot C}$$

$$h_1 := 0.17 \cdot m$$

$$\text{ancho} := 1 \cdot m$$

$$\text{Area}_3 := h_1 \cdot \text{ancho} = 0.17 \cdot m^2$$

$$Q_3 := \frac{-k \cdot \text{Area}_3 \cdot \Delta T_3}{\text{espesor}} = 42.5 \cdot kW$$

Transferencia de calor por convección 2:

$$t_6 := 65 \cdot \text{C}$$

$$\Delta T_4 := t_5 - t_6 = 80 \text{ C}$$

$$Q_4 := h_0 \cdot \text{Area}_3 \cdot \Delta T_4 = 244.8 \text{ W}$$

Transferencia de calor por conducción 3:

$$t_7 := 60 \cdot \text{C}$$

$$\Delta T_5 := t_7 - t_6 = -5 \text{ C}$$

$$Q_5 := \frac{-k \cdot \text{Area}_3 \cdot \Delta T_5}{\text{espesor}} = 42.5 \cdot \text{kW}$$

Transferencia de calor por convección 3:

$$t_0 := 22 \cdot \text{C}$$

$$\Delta T_6 := t_7 - t_0 = 38 \text{ C}$$

$$Q_6 := h_0 \cdot \text{Area}_3 \cdot \Delta T_6$$

Flujo de calor total:

$$Q_t := Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = 86.959 \cdot \text{kW}$$

BALANCE EXERGÉTICO DEL SISTEMA ENERGÉTICO

$$T_h := 500 \cdot C$$

$$T_l := 200 \cdot C$$

$$C_p := 3000000 \cdot \frac{J}{kg \cdot s}$$

$$m := 3kg$$

Donde:

Th: temperatura de la cámara de combustión

Tl: temperatura ambiente en el horno

Cp: poder calórico del carbón vegetal

m: masa de carbón utilizada

$$\eta_{\text{ter.max}} := 1 - \frac{T_l}{T_h} = 0.6$$

$$C_{p\text{final}} := C_p \cdot m = 9 \times 10^3 \text{ kW}$$

$$T_{\text{max}} := \eta_{\text{ter.max}} \cdot C_{p\text{final}} = 5.4 \times 10^3 \text{ kW}$$

Donde:

"Tmax" es el trabajo máximo disponible para el sistema energético en función de la cantidad de masa de carbón utilizada.

CAPÍTULO 6

INSTRUMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN

6.1 DETALLES DE LAS FUNCIONES

Las funciones de instrumentación y de automatización se implementaron para facilitar en cierto grado el proceso de asado, y principalmente como un complemento al proyecto de investigación, permitiendo la toma de datos. Las funciones implementadas en el sistema, se detallan a continuación.

6.1.1 INSTRUMENTACIÓN

La instrumentación cumple dos funciones, la primera es la toma de datos de temperatura, para ayudar en la parte experimental y poder considerar los valores de temperatura del sistema energético, para realizar balances energéticos y poder determinar si se está reduciendo las pérdidas de calor y energía en el mismo y en qué cantidad se está optimizando el consumo de carbón vegetal.

Para esto se utilizaron cinco termocuplas tipo J, distribuidas en el sistema energético de la siguiente manera (fig. 16):

- En la cámara de combustión, para medir el valor de temperatura del carbón vegetal. (1)
- En el centro de la cámara de cocción, para medir la temperatura a la que los alimentos están expuestos. (2)
- En la salida de los gases, para ayudar en la determinación de la energía disponible a utilizar en la recirculación. (3)

- En el exterior del sistema, para determinar la temperatura ambiente. (4)
- Un termocupla móvil, que sirva como una sonda térmica, para tomar la temperatura de los alimentos en proceso de cocción. (5)

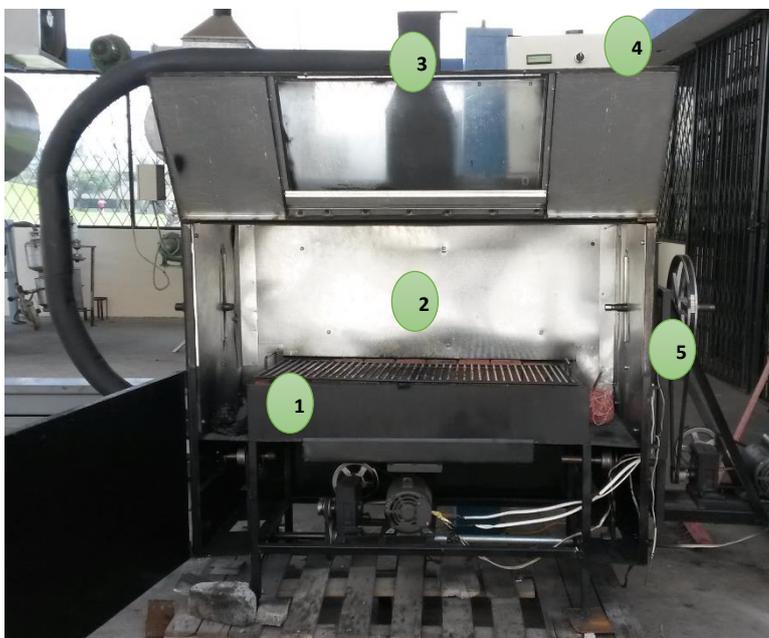


Figura 16. Distribución termocuplas

Los valores de temperatura tomados por cada termocupla se pueden observar en la pantalla LCD de la caja de control, donde se van desplegando una por una.



Figura 17. Pantalla LCD con datos termocuplas

La segunda función de instrumentación que se encuentra en el sistema energético es la que permite accionar los motores del sistema de manera manual con el uso de un switch de tres posiciones y dos pulsadores.

Al colocar el switch en la posición manual (fig. 18), el motor que hace girar al espiedo se activa inmediatamente, al estar el switch en esta posición, tenemos la opción de presionar los pulsadores para accionar el motor que permite subir o bajar el espiedo (fig. 19), según los requerimientos que considere la persona que está operando la caja de control del sistema energético. Al presionar uno de los pulsadores, una luz led nos indica si está subiendo o bajando el espiedo.



Figura 18. Posición manual del switch



Figura 19. Pulsadores y luces led.

Además como parte de la instrumentación, se cuenta con un paro de emergencia como se observe en la figura 19.

6.1.2 AUTOMATIZACIÓN

La automatización solo cumple una función, la cual es subir y bajar el espiedo de acuerdo a la temperatura de la cámara de cocción. Para el desarrollo de esta función se debe colocar el switch en la posición de automático (fig. 20).



Figura 20. Posición automático en el switch.

Una vez que el switch está en esta posición, al igual que en la posición manual, el motor que hace girar al espiedo se activa y comienza a trabajar, mientras tanto el motor que sube y baja al espiedo se activa y realiza los movimientos de la siguiente manera:

- Va a la posición superior cuando la temperatura supera los 150°C.
- Va a la posición inferior cuando la temperatura está por debajo de los 100°C.

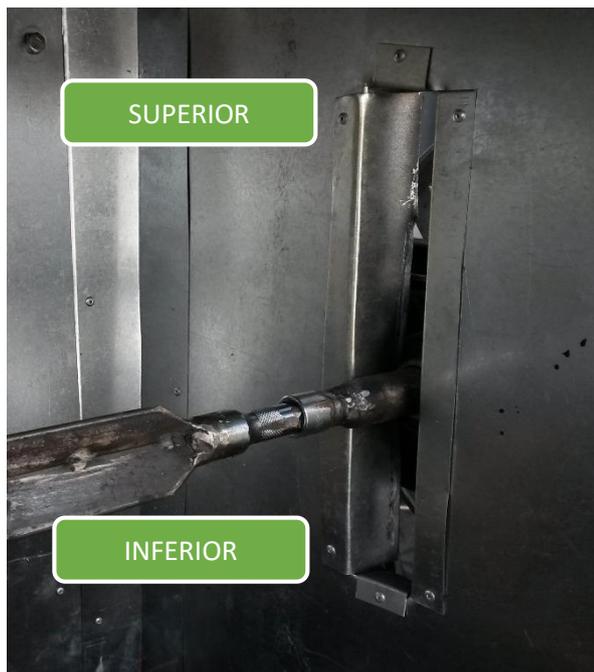


Figura 21. Posiciones del espiedo.

La termocupla ubicada en la posición (2) de la figura 16, es la que determina los movimientos del espiedo de manera automática, el espiedo se detiene en la posición indicada mediante fines de carrera ubicados en las posiciones superior e inferior.

La automatización es controlada por el Software y Hardware libre Arduino, el programa que se utilizó para controlar el sistema se muestra en el Anexo C.

6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS

Para las funciones de instrumentación y automatización se utilizaron diferentes elementos para el correcto funcionamiento de las mismas. Los elementos se seleccionaron en función a los requerimientos básicos para que se cumplan con las funciones de instrumentación y automatización especificadas arriba.

Los principales elementos utilizados en la instrumentación y automatización del sistema energético son los siguientes:

6.2.1 ARDUINO MEGA 2560 R3

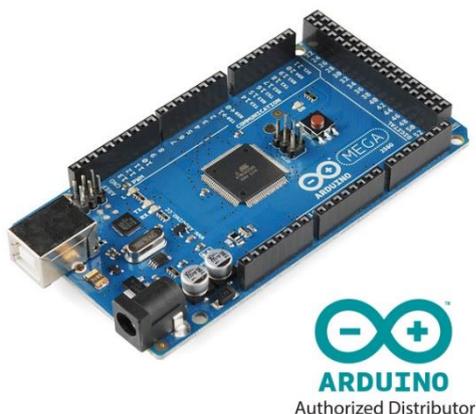


Figura 22. Arduino Mega 2560 R3.

Fuente: (Arduino, s.f.)

Arduino es un hardware libre, que consta de una placa, con un microcontrolador y puertos tanto de entrada como de salida, el hardware se complementa con un software, que permite programar las funciones que va a controlar el hardware y determinar las entradas de información que va a receptor.

Al ser un software y hardware libre, con un lenguaje de programación sencillo, similar al lenguaje C++, se utilizó Arduino para controlar las funciones de instrumentación y automatización del sistema.

El modelo Mega 2560 R3, posee más memoria RAM, brindando más espacio para programar y una gran cantidad de pines de entrada y salida (tabla 31); facilitando el desarrollo del proyecto, al permitir una programación completa de las funciones. Arduino Mega 2560 R3, se puede alimentar de energía mediante la conexión a una computadora, mediante cable USB o con un cargador autónomo como en el presente proyecto.

Tabla 33.

Características Arduino Mega 2560 R3

ARDUINO MEGA 2560 R3	
Microcontrolador	ATmega2560
Tensión de alimentación	5V
Tensión de entrada recomendada	7-12 V
Pines digitales	54 (14 con PWM)
Entradas analógicas	16
Memoria flash	256 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Largo	101.52 mm
Ancho	53.3 mm
Peso	37 g

Fuente: (Arduino, s.f.)

6.2.2 TERMOCUPLAS TIPO J

Dentro de las funciones de instrumentación, se consideró la toma de datos de temperatura en ciertas partes del sistema, así como también dentro de la

automatización, se controlara la posición del espiedo mediante la temperatura de la cámara de cocción. Las temperaturas serán tomadas mediante el uso de termocuplas tipo J, que son sensores de temperatura formados por la unión de dos metales que entregan señales de tensión en base a la temperatura percibida en el denominado punto caliente, en relación al otro extremo.

Existen distintos tipos de termocuplas según los materiales que las conforman, con diferentes sensibilidades y rangos de temperatura, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 34.

Tipos de termocuplas.

TIPO	Combinación de metales	Sensibilidad	Rango de temperatura
J	Hierro/Constantan	5,6 mV/100°C	-40°C a +750°C
K	Cromel/Alumel	3,6 mV/100°C	-40°C a +1200°C
T	Cobre/Constantan	4,5 mV/100°C	-50°C a +400°C
E	Cromel/Constantan	7,9 mV/100°C	-40°C a +900°C
R	Platino-Rodio/Platino	Fig. 22	Hasta 1480°C
S	Platino-Rodio/Platino	Fig. 22	Hasta 1400°C
B	Platino-Rodio/Platino-Rodio	Fig. 22	Hasta 1700°C

Fuente: (Universidad Nacional de La Plata)

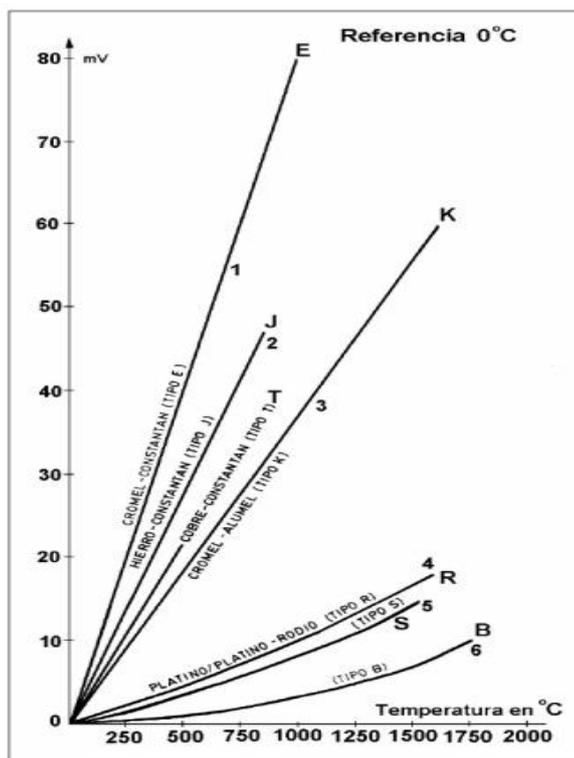


Figura 23. Curvas tensión-temperatura diferentes tipos de termocuplas.

Fuente: (Universidad Nacional de La Plata)

En relación a las temperaturas que va a trabajar el sistema energético, que máximo alcanzan alrededor de los 500°C en la cámara de combustión, se pueden utilizar termocuplas tipo J o tipo K, debido a que tienen rangos adecuados para el proceso y son económicas; siendo las tipo K utilizadas mayormente en hornos de fundición al poseer un mayor rango de trabajo, por esto se utilizan termocuplas tipo J, porque su rango de operación es suficiente.

Es importante al trabajar con termocuplas, al momento de realizar la programación saber la sensibilidad de la misma, así como la función de la misma, para dar un valor de temperatura a cada valor de temperatura, para lo que se utiliza las curvas tensión-temperatura de la figura 22.



Figura 24. Termocupla tipo J

Fuente: (Universidad Nacional de La Plata)

6.2.3 INTERRUPTOR MAGNETO TÉRMICO

Este interruptor tiene la función de proteger al circuito completo de un cortocircuito o de una sobrecarga, interrumpiendo el paso de corriente eléctrica cuando una de estas dos anomalías se presenta. Un interruptor magneto térmico consta de un electroimán que mediante la detección de un aumento brusco de temperatura protege al circuito de un cortocircuito, y consta de una lámina bimetálica que al calentarse por sobre su límite, se deforma, envía una señal y así protege al circuito de sobrecargas. Este elemento se seleccionó para proteger al circuito netamente. (Wikipedia, 2016)



Figura 25. Interruptor magneto térmico.

Fuente: (Wikipedia, 2016)

6.2.4 PANTALLA LCD

Se utiliza una pantalla LCD para poder visualizar los valores de temperatura obtenidos por las termocuplas colocadas en el sistema, es una pantalla pequeña, solo para poder visualizar una temperatura tras otra, ya que no se necesita tener todos los datos a la vez, la pantalla utilizada se puede observar en la figura 16.

6.2.5 PULSADORES

Se colocaron dos pulsadores para poder controlar el espiedo de forma manual, tanto de subida como bajada; además se colocó un pulsador extra, para que funcione como paro de emergencia. Los pulsadores se pueden apreciar en la figura 18.

6.2.6 SWITCH DE TRES POSICIONES

El switch de tres posiciones sirve para seleccionar si el sistema va a estar apagado, o si va funcionar de manera manual o automática, esto se observa en las figuras 17 y 19.

6.2.7 LUCES LED

Las luces led nos indican si el sistema está subiendo o bajando como se muestra en la figura 18. Se utilizaron dos luces.

6.2.8 CONTACTORES ELECTROMAGNÉTICOS



Figura 26. Contactor Electromagnético.

Fuente: (Rojas, 2004)

Un contactor es un mando eléctrico, que permite o no el paso de corriente, en otras palabras, abre o cierra circuitos según la el mando o la señal que reciba, en este caso al ser un contactor electromagnético, su accionamiento se realiza mediante un electroimán. (Rojas, 2004)

El contactor al recibir energía, genera un campo magnético, que mueve su carcasa y permite que los contactos cambien de posición, en este caso de abierta a cerrada, permitiendo que pasa corriente al circuito.

Se utilizan dos contactores, para poder controlar el sentido de giro del motor del sistema que permite subir o bajar al espiedo. Un contactor para cada uno de los sentidos de giro, según se quiera subir o bajar el espiedo, un contactor se energiza.

6.2.9 FINES DE CARRERA

Se utilizan dos pulsadores pequeños como fines de carrera, tanto en la posición superior como en la inferior del espiedo (fig. 20), para que al llegar el espiedo a dichas posiciones, el pulsador correspondiente envíe una señal al programa y se detenga el giro del motor. Estos fines de carrera funcionaran cuando el switch de tres posiciones se encuentre en la posición automático.

6.2.10 RELÉS DE 5 VOLTIOS

Un relé es un interruptor eléctrico, que permite el paso de corriente en un circuito, cumpliendo una función similar a la de los conmutadores, le diferencia es que los relés controlan el paso de corriente en circuito de control conectado al Arduino, mientras los conmutadores reciben estas señales y permite el paso de corriente al circuito de potencia, es decir directo a los motores.



Figura 27. Relé de 5 voltios.

Fuente: (Wikipedia, 2016)

6.2.11 AMPLIFICADORES OPERACIONALES LM741

Los amplificadores operacionales (A.O.) son circuitos integrados con una salida y dos entradas, siendo la salida la diferencia de las dos entradas multiplicada por un factor de ganancia. En esta ocasión se los utiliza como amplificadores de señal para las termocuplas.

El A.O. LM741 tiene un gran rango de voltaje y una alta ganancia, siendo de los más completos en el mercado. (Dominguez)

CAPITULO 7

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Una vez que se finalizó con la construcción, instrumentación y automatización del equipo es necesario hacer un análisis de resultados de una forma comparativa entre los datos de las encuestas realizadas y los datos que se obtuvo de asar productos cárnicos en este sistema energético.

7.1 RESULTADOS

Los primeros resultados que van a ser útiles para el presente trabajo de investigación son los valores que se obtuvieron de las encuestas, dónde estos resultados serán el punto de comparación para ver qué tan eficiente llegó a ser el presente sistema energético

Como referencia se sabe que un saco de carbón equivale a unos 30Kg aproximadamente y tiene un costo promedio de USD 15,00; información que fue proporcionada en todos los locales donde se hizo las encuestas.

7.1.1.- LOCALES DONDE SE ASAN FILETES (POLLO, CARNE Y/O CHULETAS)

Tabla 35.

Tabulación datos de encuestas.

Cantidad de Carbón (Kg)	Cantidad de Producto Asado (Kg)
0	0
45	64
60	80
30	50
45	75
15	32
30	64
25	26
50	52

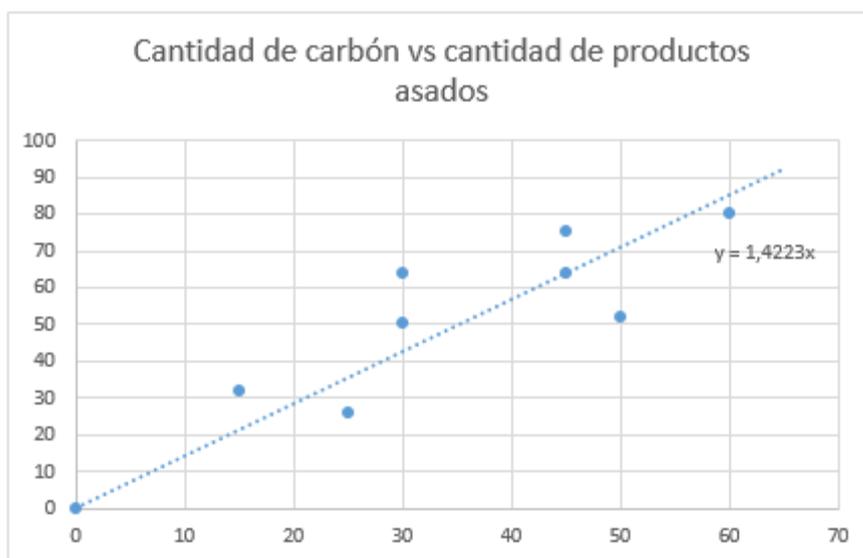


Figura 28. Cantidad de carbón vs Cantidad de productos asados.

7.1.2.- LOCALES DONDE SE ASAN EXCLUSIVAMENTE POLLOS ENTEROS

Tabla 36.

Resumen cantidad de carbón utilizado vs cantidad de pollos asados

CANTIDAD DE CARBÓN (Kg)	POLLOS ASADOS (No)
0	0
15	20
45	60
15	17
30	35
15	17
30	35
30	30
60	60

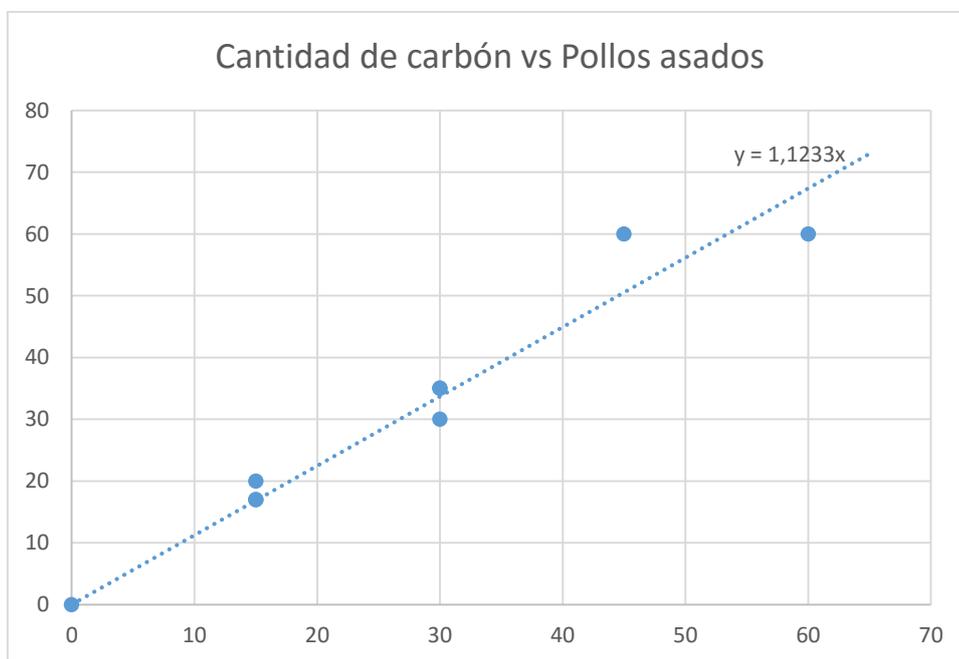


Figura 29. Cantidad de carbón vegetal vs cantidad de pollos asados.

Tabla 37.

Resumen peso del pollo vs tiempo en asar

PESO DEL POLLO (lb)	TIEMPO (min)
0	0
3.25	52
4	120
4.25	120
4.5	150

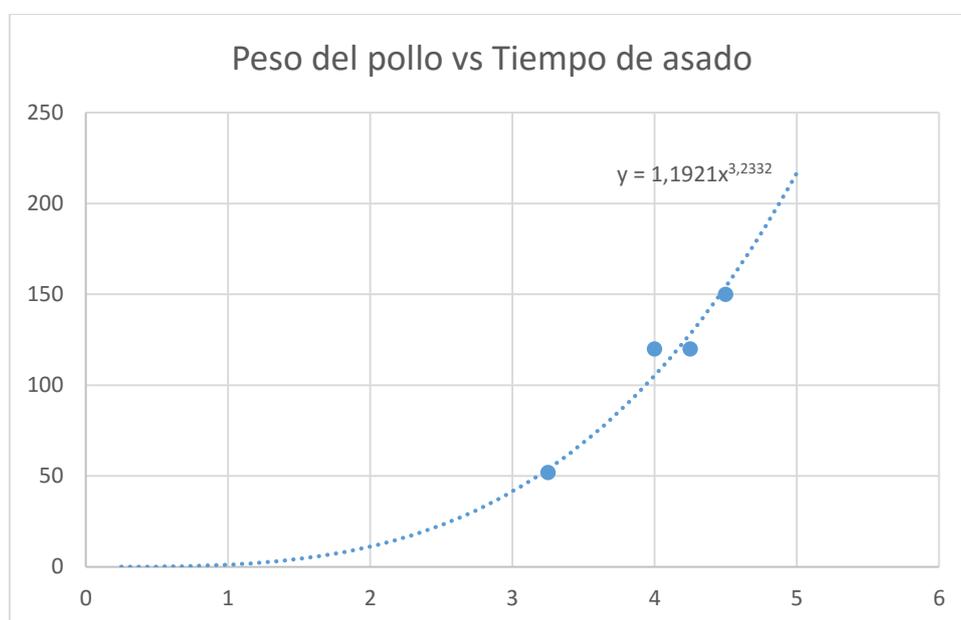


Figura 30. Peso del pollo vs tiempo de asado

7.1.3 PRUEBAS EN EL EQUIPO

Los resultados que se va a obtener después de asar los alimentos en el equipo serán los valores que reflejen que tan eficiente llegó a ser el presente trabajo de investigación con respecto a los valores de las encuestas que reflejan la eficiencia de equipos comunes que utilizan los locales.

De esta manera la primera parte de los resultados será asar productos cárnicos sobre la parrilla y la segunda parte es el asado de dos pollos enteros en la espada con el sistema rotativo y el sistema de control de la elevación del espiedo.

7.1.3.1 Resultados de alimentos asados sobre parrilla.

El primer valor que se necesita es el peso de los alimentos que se va a asar, lo que muestra la imagen a continuación:

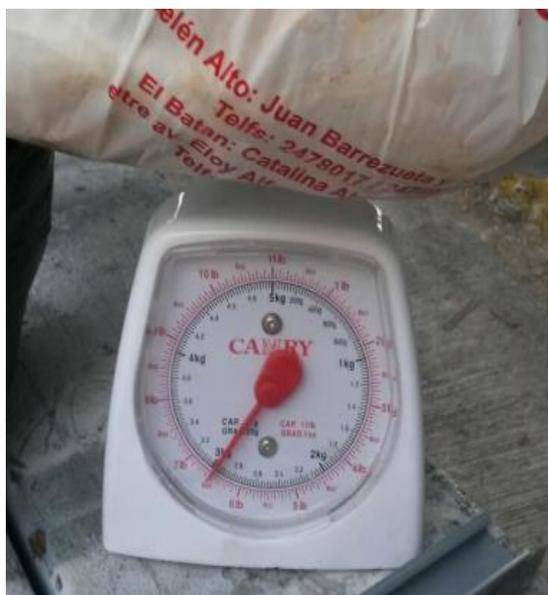


Figura 31. Peso de los productos cárnicos a ser asados.

Posteriormente se tiene el peso o cantidad de carbón que va a ser necesario para asar estos 3Kg de carne, para este valor tomamos como referencia la función lineal que refleja la figura 27 “Cantidad de carbón vegetal vs cantidad de productos asados” que es $y = 1.4223x$, lo cual despejando la cantidad necesaria de carbón da como resultado 2.11Kg de carbón. Tomando en cuenta que el presente trabajo de investigación tiene como objetivo reducir el consumo de

carbón, por lo que se coloca 1Kg de carbón vegetal en el horno para asar todos los alimentos como se muestra en la imagen a continuación



Figura 32. Cantidad de carbón para la prueba.

Posteriormente se procede a encender el carbón, a colocar los productos cárnicos sobre la parrilla y a verificar la cocción de los alimentos como se muestra en la imagen a continuación



Figura 33. Alimentos sobre la parrilla con el carbón al rojo vivo

Finalmente después de haber asado los 3Kg de alimentos comprendidos por 7 filetes de carne, 7 piernas de pollo, 4 alitas de pollo y 2 filetes de pollo se procede a apagar el carbón para pesar y analizar cuánto carbón fue quedado, que se muestra en la imagen a continuación:



Figura 34. Peso de carbón restante después del asado (250gramos)

Entonces el resultado de la prueba se resume en la siguiente tabla:

Tabla 38.

Resultados prueba de asado sobre parrilla.

	Consumo de carbón (Kg)
Prueba equipo – proyecto	0.75
Cantidad de productos asados (kg)	3

7.1.3.2 Resultados de asado de pollo entero

Nuevamente para obtener resultados lo primero que se necesita es el peso de los productos a asar, siendo en este caso dos pollos enteros de 1.626Kg, que equivale a 3,58lb



Figura 35. Pollos para el asado

Posteriormente haciendo un análisis de las funciones que surgieron de las encuestas, se determina que para 2 pollos se necesitan 1.79 Kg de carbón vegetal, por lo que para esta prueba se coloca 2Kg de inicio en el equipo.

Posterior a tener los datos de entrada se procede a encender el carbón y ubicar los pollos en la espada e inmediatamente el carbón se encuentre uniformemente encendido, se toma el tiempo inicial como se muestra en la imagen a continuación.



Figura 36. Tiempo inicial de pollos en la espada

Durante la cocción se mantuvo la puerta cerrada y la salida de humo cerrada, con el fin de tener la mayor ganancia térmica posible. Además se tomó como referencia la función de las encuestas que permite determinar el tiempo de cocción para cualquier peso de pollo, obteniendo que para pollos de 3,58 se requiere 73,64 minutos. Teniendo como referencia este tiempo se abrió la tapa para determinar física y técnicamente si el pollo ya se encuentra asado. Además se sabe que cuando la carne del pollo internamente marque 73°C el pollo estará asado completamente.

De esta manera físicamente el pollo se encontró dorado y la temperatura marco 72°C por lo que se dejó 4 minutos más y se sacó los pollos para su consumo.



Figura 37. Pollos terminados

Nuevamente como paso final se procede a apagar el carbón para pesarlo y verificar cuanto carbón en realidad se consumió como muestra la imagen a continuación:



Figura 38. Peso del carbón sobrante después del asado de pollos enteros

Con esta imagen se puede apreciar que sobró 800 gramos de carbón vegetal, por lo tanto para asar los dos pollos fueron necesarios 1.2 kilogramos de carbón.

7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En los locales donde se realizó las encuestas tienen equipos para asar los alimentos sin ninguna ganancia térmica, es decir entonces que los resultados de este equipo serán comparados con asadores comunes. Los datos recogidos en las encuestas fueron puestos en una tabla para realizar un gráfico con estos puntos, para que de esta manera se genere una función lineal que ayuda a realizar comparaciones a la escala que se requiera.

7.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ASADO DE ALIMENTOS SOBRE PARRILLA

Para realizar el análisis de resultados se debe saber la cantidad de alimentos que fueron asados y la cantidad de carbón que se ocupó para la cocción tanto para el equipo como para las encuestas (equipos normales), lo que se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 39.

Análisis de resultados asado de alimentos sobre parrilla.

	Cantidad de alimentos asados (Kg)	Cantidad de carbón utilizado para asar (Kg)
Encuestas	3	$y = 1.4223x$ 2.10
Equipo – Proyecto de investigación	3	0,75

De esta forma según la función lineal que se obtuvo de las encuestas para asar 3 kilogramos de productos cárnicos es necesario 2.10 kilogramos de carbón vegetal, mientras que en el equipo del presente trabajo de investigación para asar 3 kilogramos de alimentos únicamente se necesitó 0,75 kilogramos de carbón lo que significa un ahorro del **68,28%** del biocombustible.

Es importante considerar que para el asado de productos cárnicos sobre la parrilla no se va a tomar en cuenta los tiempos de cocción debido a que va a haber muchos productos y tiempos muy cortos, además que para hacer un análisis de resultados en este aspecto se debe asar un mismo producto en un equipo normal y en el equipo del presente trabajo de investigación para poder determinar cuál es la ganancia en tiempos.

Económicamente el ahorro diario en los locales que más y menos carbón consumen respectivamente sería el siguiente:

Tabla 40.

Ahorro económico diario.

CONSUMO ACTUAL (Kg)	CONSUMO ESPERADO (Kg)	GASTO ACTUAL (USD)	GASTO ESPERADO (USD)	AHORRO (USD)
60	19	30	9,5	20,5
15	5	7,5	2,5	5

7.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ASADO DE POLLO ENTERO

Para el análisis de resultados del asado de pollos enteros es necesario saber el peso de los pollos, el tiempo de asado y la cantidad de carbón necesaria para que los alimentos estén listos. Es así como nuevamente se hará una

comparación entre los valores obtenidos en las encuestas y los datos que proporciona el equipo del presente trabajo de investigación que se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 41.

Análisis de resultados asado de pollos enteros.

	Cantidad de Pollos asados - peso (N°) - (Lb)	Cantidad de carbón utilizado para asar (Kg)	Tiempo de asado (min)
Encuestas	2 – 3,58	$y = 1.1233x$	$y = 1,1921x^{3,2332}$
		1,78	73,64
Equipo – Proyecto de investigación	2 – 3,58	1,2	64

Entonces para asar dos pollos, según las funciones, lineal y polinómica obtenidas a partir de las encuestas realizadas, es necesario 1,78 kilogramos de carbón vegetal y se tardaría 74 minutos. Y para asar los mismos dos pollos en el equipo del presente trabajo de investigación fue necesario 1,2 kilogramos de carbón vegetal y 64 minutos de asado, obteniendo así un ahorro del **32,58%** de carbón y una disminución del **13,51%** en el tiempo de asado.

El ahorro diario de los locales se encontraría entre los siguientes límites:

Tabla 42. Ahorro económico diario.

CONSUMO ACTUAL (Kg)	CONSUMO ESPERADO (Kg)	GASTO ACTUAL (USD)	GASTO ESPERADO (USD)	AHORRO (USD)
60	40	30	20	10
15	10	7,5	5	2,5

7.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

Tabla 43.

Resumen de gastos.

	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO (\$)	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR TOTAL (\$)
1	Planchas de acero ASTM A-36 4mx1.2mx1mm	20	c/u	5	100
2	Cortadora	7	/hora	5	35
3	Soldadora	40	/hora	7	280
4	Tubo Acero ASTM A-36 d=12cm	2	/kilo	8	16
5	Acero ASTM A-36 perfil cuadrado l=1.5cm	2	/kilo	10	20
6	Motor trifásico 0.25HP	150	c/u	2	300
7	Reductor de velocidad 40:1	75	c/u	2	150
8	Polea d=5cm	3	c/u	3	9
9	Polea d=6cm	4	c/u	2	8
10	Polea d=15cm	8	c/u	3	24
11	Volante d=34cm	15	c/u	1	15
12	Banda	4	c/u	3	12
13	Parrilla para asado 1mx0.5m	80	c/u	1	80
14	Espada para pollos	35	c/u	1	35
15	Vidrio templado 1mx0.5m	100	c/u	1	100
16	Plancha de latón 4mx1.2mx0.7mm	12	c/u	2	24
17	Acero ASTM A-36 perfil L	2	/kilo	15	30
18	Acero ASTM A-36 perfil cuadrado l=3cm	2	/kilo	10	20
19	Chumaceras	5	c/u	4	20
20	Remachadora	10	c/u	1	10
21	Remaches	0,01	c/u	100	1

Continua 

22	Pernos de acero inoxidable	0,40	c/u	20	8
23	Arandela inoxidable	0,05	c/u	20	1
24	Rosca Acero inoxidable	0,1	c/u	20	2
25	Rollo Lana de Roca 2,4mx0,91m, e=2"	45	c/u	1	45
26	Ladrillo refractario 10cmx20cm, e=1"	1,5	c/u	20	30
27	Pintura anticorrosiva para altas temperaturas	8	c/spray	6	48
28	Manijas	2	c/u	2	4
29	Arduino Mega	50	c/u	1	50
30	Cables para Arduino	0,1	c/u	50	5
31	Relevadores	3	c/u	3	9
32	Interruptor	10	c/u	1	10
33	Contactores	10	c/u	2	20
34	Pantalla LCD	35	c/u	1	35
35	Placa para conexiones	2	c/u	2	4
36	Resistencia eléctrica	0,1	c/u	50	5
37	Pulsadores	3	c/u	3	9
38	Switch 3 posiciones	1	c/u	1	1
39	Luces LED	1	c/u	3	3
40	Fines de carrera	1	c/u	2	2
41	Amplificadores operacionales	0,5	c/u	5	2,5
42	Cadena	2	/metro	1	2
				TOTAL	1584,5

Tabla 44.**Costo total del proyecto.**

	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO (\$)	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR TOTAL (\$)
1	Mano de Obra	450	Integrante	2	900
2	Gastos del proyecto	1584,5	total	1	1584,5
				TOTAL	2484,5

En base a los gastos realizados en el proyecto y la mano de obra de los desarrolladores del proyecto, se estima que el costo total del sistema energético obtenido en el presente proyecto es de **\$2484,5**.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- El consumo de carbón vegetal en asados de parrilladas, sean filetes de carnes, pollo y/o chuletas de cerdo, utilizando el sistema energético desarrollado en el proyecto, se redujo en un 68,28% en relación al consumo de carbón en asaderos comerciales existentes.
- El consumo de carbón vegetal en asados de pollos enteros, utilizando el sistema energético desarrollado en el proyecto, se redujo en un 32,58% en relación al consumo de carbón en asaderos comerciales existentes.
- El consumo de carbón vegetal se redujo en menor medida en el asado de pollos enteros, debido a que en la mayoría de locales comerciales cuentan con 4 a 6 espadas, mientras el equipo del presente proyecto solo cuenta con una, lo cual nos impide hacer un análisis más exacto de la eficiencia.
- Un local de asado de filetes podría ahorrar al mes hasta USD 650 con el equipo desarrollado en el presente proyecto, mientras que uno de asado de pollos enteros puede ahorrar hasta USD 300.
- Al comparar termodinámicamente el mismo equipo con y sin aislamiento, se observó que se puede reducir la cantidad de calor que sale del carbón encendido hacia el exterior del equipo hasta en 64,6 KW.

- Comercialmente el equipo se puede comercializar por un costo de \$2500, permitiendo una ganancia de \$915,15 en relación a los gastos, sin considerar la mano de obra. Esto considerando que los equipos comerciales para negocios de alimentación existentes, tienen un costo aproximado de \$2000.
- El sistema de elevación nos permite una mejor cocción de pollos, al acercarlos o alejarlos de la brasa según la temperatura de la cámara de cocción.
- La recirculación del humo de escape, nos permite aprovechar el calor para encender el carbón vegetal utilizado en la cocción de alimentos, así como para mantenerlo encendido; siendo algo novedoso, ya que en el mercado nacional no existen equipos comerciales con esta característica.
- El presente proyecto puede ser adaptado a medidas distintas, según los requerimientos deseados, manteniendo una buena eficiencia, siempre que se conserve la idea principal del uso de aislantes térmicos y recirculación.

8.2 RECOMENDACIONES

- Desarrollar proyectos similares al presente, con nuevas aplicaciones, así como con el uso de diferentes biocombustibles; Buscando optimizar el consumo de los mismos al igual que en el presente proyecto.
- Implementar este tipo de proyectos a gran escala para que el impacto sobre el medio ambiente sea realmente significativo, ya que se puede comercializar equipos como el presente en los locales de asado de alimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Albintrotter. (s.f.). *Parrilla comerciales*. Obtenido de www.albintrotter.cl
- Álvarez, R. (11 de Octubre de 2008). *Sondas termicas: Consejos de uso y tablas de temperatura*. Obtenido de No se le puede llamar cocina: <http://www.noselepuedellamarcocina.com/2008/10/11/sondas-termicas-consejos-de-uso-y-tablas-de-temperatura/>
- Arduino. (s.f.). *Arduino Mega 2560 r3*. Obtenido de www.arduino.cc
- Atymi. (s.f.). Catálogo Lana de vidrio.
- Bouille, D., & Gallo, G. (1993). *Análisis de la contribución forestal a la producción de energía en America Latina*. Roma: FAO.
- Calorcol. (s.f.). Catálogo Aislantes Térmicos.
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa*. Reno: McGrawHill.
- Cengel, Y. (2017). *Transferencia de calor y masa*. Reno: McGrawHill.
- Charbroil. (s.f.). Obtenido de www.charbroil.com
- Cocineando. (s.f.). *Metodos de coccion: El asado*. Obtenido de Cocineando: <http://www.cocineando.com/03%20TECNICAS/03%20TECNICAS%20asarB.html>
- Dominguez, V. (s.f.). *Amplificador Operacional 741*.
- Duglass. (s.f.). *Vidrio Templado: recomendaciones y propiedades*. Obtenido de Duglass: www.duglass.com
- Estudio FAO: Montes. (1983). *Métodos simples para fabricar carbón vegetal*. Roma: FAO.
- Fagor. (s.f.). *Las técnicas del asado*. Obtenido de Blog Fagor: <http://blog.fagor.com/gastronomia/tecnicas-de-cocina/las-tecnicas-de-asado-descubrelas-todas/>
- González, M. (20 de Abril de 2010). *Clasificación de los combustibles*. Obtenido de La Guia: <http://quimica.lagua2000.com/general/clasificacion-de-los-combustibles>
- I.N.E. (1982). *Balances Energéticos*.
- I.N.E.C. (2010). *Censo de población y vivienda*.
- I.N.E.C. (2010). *Censo Nacional Económico*.
- Mangonon, P. (2001). *Ciencia de materiales, selección y diseño*. Mexico: Prentice Hall.
- Mayor, G., Pérez, N., & Navarro, V. (2003). *Procesos de cocina*. Malaga: Sintesis.
- MetalMachine. (s.f.). *Modelos de asaderos*. Obtenido de www.metalmachine.com.ec

- Minue. (2 de Noviembre de 2011). *Historia del fuego en la cocina*. Obtenido de Directo al paladar: <http://www.directoalpaladar.com/cultura-gastronomica/historia-del-fuego-en-la-cocina>
- N.N.U.U. (1978). *Conferencia sobre fuentes de energía nuevas y renovables*.
- Obras Web. (s.f.). *Selección de espesores de plancha*. Obtenido de www.obrasweb.com.mx
- QuimiNet. (22 de Junio de 2011). *Que es el acero negro y cuales son sus principales características*. Obtenido de QumiNet: <http://www.quiminet.com/articulos/que-es-el-acero-negro-y-cuales-son-sus-principales-caracteristicas-61225.htm>
- Rojas, F. (2004). *Contactores electrico y a elementos auxikiars de mando* . Duitama: UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA.
- Rust-Oleum. (12 de Diciembre de 2014). Hoja de datos de seguridad del material. *High Heat Coating*.
- Salazar, B. (s.f.). *Transferencia de calor*. Obtenido de Fisica y Quimica universidad: <http://www.webquestceys.com/majwq/wq/ver/6688>
- Universidad de Oviedo. (2010). *Refractarios*. Oviedo: uniovi.
- Universidad Nacional de La Plata. (s.f.). *Termocuplas*. Obtenido de Diseño Industrial: <http://www.ing.unlp.edu.ar/cys/DI/termocuplas.pdf>
- Wikipedia. (25 de Noviembre de 2015). *Carbón Vegetal*. Obtenido de Wikipedia, la enciclopedia libre: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Carb%C3%B3n_vegetal&oldid=87234457
- Wikipedia. (15 de Enero de 2016). *Interruptor Magnetotérmico*. Obtenido de Wikipedia, La enciclopedia libre: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Interruptor_magnetot%C3%A9rmico&oldid=88464346
- Wikipedia. (12 de Enero de 2016). *Relé*. Obtenido de Wikipedia, La enciclopedia libre: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Rel%C3%A9&oldid=88391963>