

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN HORNO VERTICAL PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DIEGO JAIR MORAN QUIJIJE
diegomor19@hotmail.com

EDWIN VINICIO SANGACHA ROBALINO
vinicio.sangacha@gmail.com

DIRECTOR: Ing. JAIME RAÚL VARGAS TIPANTA
jaime.vargas@epn.edu.ec

Quito, Julio 2014

DECLARACIÓN

Nosotros, Diego Jair Moran Quijje y Edwin Vinicio Sangacha Robalino, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por normativa institucional vigente.

Diego Jair Moran Quijje

Edwin Vinicio Sangacha Robalino

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Diego Jair Moran Quijije y Edwin Vinicio Sangacha Robalino, bajo nuestra supervisión.

Ing. Jaime Vargas T.

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Daniel Zapata

CODIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme dado salud y sabiduría.

A mi mamá, papá, hermanos y a toda mi familia por haberme apoyado durante mi carrera estudiantil, por el amor, paciencia y por entregarnos lo mejor de ellos para que podamos cumplir nuestras metas.

A quienes a lo largo de nuestros caminos nos ha alentado a seguir adelante y han confiado en nosotros.

A nuestro director de Tesis Ing. Jaime Vargas y a nuestro codirector, Ing. Daniel Zapata por toda su ayuda que ha sido fundamental para culminar este proyecto.

A nuestra querida Facultad porque de sus aulas llevamos los más gratos momentos que nunca olvidare.

Diego M.

A Dios que ha colocado la luz en el camino que he seguido.

A mis padres Lidia y Mateo por amor, dedicación, sabiduría e infinita paciencia.

A mis hermanos Kevin y Angelita por su amor y ánimos.

A nuestro director Ing. Jaime Vargas por su guía, consejos y amistad.

A nuestro colaborador Ing. Daniel Zapata por su amistad y oportuna ayuda.

A mis amigos por su presencia en los malos, buenos y rebuenos momentos.

A la mejor facultad del mundo, Ingeniería Mecánica, donde pase los mejores años de mi vida y me permitió conocer gente excepcional.

Vinicio S.

DEDICATORIA

A Dios por haberme bendecido con una maravillosa familia, los cuales por su afán y sacrificio me apoyaron cada día para llegar a culminar esta etapa estudiantil, que me han capacitado para un futuro mejor.

A mis padres, Fanny Barbarita Quijije y Gonzalo Abel Morán, quienes con su dedicación y sacrificio me enseñaron el camino para triunfar en la vida. Aquellos que con su amor, comprensión y confianza supieron apoyarme para conseguir la meta propuesta y además sentirme orgulloso de ellos por darme la oportunidad de demostrarles que si se puede conseguir lo que se propone en la vida.

A mis hermanos y amigos, por el cariño brindado en todo momento y el apoyo incondicional en todos mis proyectos.

Diego M.

A todos los que han sentido en su esencia el llamado e inmenso deseo de superación no solo profesional, sino también personal, recordándoles que lo que somos y seremos es la consecuencia del conocimiento y la experiencia.

A todos los que han encontrado obstáculos en sus vidas y han sentido que el camino elegido es largo y difícil, diciéndoles que la mejor parte es la gloria de superarlos.

A todos los que se han planteado una meta y han logrado completarla, proponiéndoles plantearse metas nuevas. La vida debe tener un propósito; despertar la fuerza para avanzar requiere hallar la inspiración adecuada.

Vinicio S.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	CARNE DE POLLO. EL POLLO PARRILLERO	1
1.2.1	PRODUCCIÓN Y COMSUMO DE CARNE DE POLLO	2
1.2.2	IMPORTANCIA DEL CONSUMO DE CARNE DE POLLO	3
1.2.3	COMPOSICIÓN	3
1.2.4	IDENTIFICACIÓN DE LA CARNE DE POLLO	3
1.2.5	NORMATIVA DE LA CARNE DE POLLO	4
1.2.6	COCIMIENTO DE LA CARNE DE POLLO	4
1.2.7	MÉTODOS DE COCIDO DE LA CARNE DE POLLO	5
1.2.8	GRASAS Y ACEITES EN LOS ALIMENTOS	6
1.2.8.1	Consistencia de las grasas	6
1.2.8.2	Composición de la grasa de los alimentos	7
1.3	CALENTAMIENTO DE LOS ALIMENTOS	7
1.4	HORNOS	8
1.4.1	CLASIFICACIÓN DE HORNOS ASADOR	8
1.4.1.1	Por la naturaleza de la fuente instalada	9
1.4.1.1.1	Horno asador eléctrico	9
1.4.1.1.2	Horno asador a gas	9
1.4.1.1.3	Horno asador con combustible sólido	10
1.4.1.2	Por la capacidad de producción del horno	11
1.4.1.2.1	Horno asador de uso doméstico	11
1.4.1.2.2	Horno asador de uso comercial	11

CAPÍTULO II

PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DEL HORNO

2.1	INTRODUCCIÓN	12
2.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
2.3	ESTUDIO DE CAMPO	13
2.3.1	TEMPERATURA Y TIEMPO DE COCCIÓN	13
2.3.2	MASA PROMEDIO	16
2.3.3	DENSIDAD DE LA CARNE DE POLLO	17
2.4	PROPIEDADES GENERALES DEL EQUIPO	18
2.4.1	AMBIENTE DE TRABAJO	18
2.4.2	SALUBRIDAD	18
2.4.3	PRESENTACIÓN REQUERIDA	18
2.5	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	19
2.5.1	HORNO HORIZONTAL ROTATORIO PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS	19
2.5.1.1	Ventajas	19
2.5.1.2	Desventajas	20
2.5.2	HORNO VERTICAL PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS	20
2.5.2.1	Ventajas	21
2.5.2.2	Desventajas	21
2.5.3	SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	22
2.5.3.1	Factores para la evaluación de alternativa	22
2.5.3.1.1	Costos	22
2.5.3.1.2	Facilidad de construcción y montaje	22
2.5.3.1.3	Peso	22

2.5.3.1.4	Facilidad de mantenimiento	23
2.5.3.1.5	Facilidad de operación	23
2.5.3.1.6	Seguridad	23
2.5.3.2	Método de evaluación de alternativa	23
2.6	PARÁMETROS FUNCIONALES	27
2.7	RESTRICCIONES Y LIMITACIONES	27
2.7.1	RESTRICCIÓN DE MATERIALES	27
2.7.2	RESTRICCIÓN DE SEGURIDAD	27
2.7.3	RESTRICCIÓN DE OPERACIÓN	28
2.7.4	RESTRICCIONES ECONÓMICAS	28

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO

3.1	INTRODUCCIÓN	29
3.2	MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL ANALISIS DE ESTADO ESTABLE	29
3.2.1	CIRCUITO TÉRMICO PARA LA CONFIGURACIÓN DADA EN ESTADO ESTABLE	30
3.2.2	TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN	31
3.2.2.1	Conducción radial en estado estable de cilindros huecos	32
3.2.3	TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN	33
3.2.4	TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADICIÓN	34
3.3	MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL ANALISIS DE ESTADO TRANSITORIO	35
3.3.1	BALANCE ENERGÉTICO EN ESTADO TRANSITORIO.....	36
3.3.2	CONDUCCIÓN DE CALOR EN ESFERAS CON EFECTOS ESPACIALES	37

3.3.3	SUPERFICIES CON FLUJO DE CALOR CONSTANTE	38
-------	--	----

CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL HORNO

4.1	INTRODUCCIÓN	41
4.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL HORNO	41
4.3	DIMENSIONES DEL HORNO Y ESPESOR DEL AISLANTE	42
4.3.1	PARÁMETROS Y VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL MODELO MATEMÁTICO EN ESTADO ESTABLE	42
4.3.1.1	Dimensiones de la cámara cocción	42
4.3.1.2	Temperatura del fluido y los alrededores	43
4.3.1.3	Temperatura de los gases y temperatura de pared interior	43
4.3.2	CONSIDERACIONES ADICIONALES	44
4.3.3	CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL HORNO Y DEL ESPESOR DEL AISLANTE A UTILIZAR	45
4.3.3.1	Propiedades generales	45
4.3.3.1.1	Propiedades del aislante	45
4.3.3.1.2	Propiedades del acero inoxidable	45
4.3.3.1.3	Propiedades de aire interior	46
4.3.3.1.4	Propiedades del aire exterior	46
4.3.3.2	Cálculo del calor por conducción a través de paredes y la tapa superior	47
4.3.3.3	Cálculo del calor por convección a través de paredes y la tapa superior	48
4.3.3.4	Cálculo del calor por radiación a través de paredes y la tapa superior	48
4.3.3.5	Balance energético en estado estable	49

4.3.3.6	Resumen de dimensiones	52
4.4	TIEMPO DE ESTABILIZACION DEL EQUIPO	52
4.4.1	PARÁMETROS Y VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL MODELO MATEMÁTICO EN ESTADO TRANSITORIO	52
4.4.1.1	Temperatura inicial del pollo	53
4.4.1.2	Temperatura de los alrededores	53
4.4.1.2.1	Propiedades del aire a 185°C	53
4.4.1.3	Temperatura interna del pollo	54
4.4.1.4	Dimensiones del pollo	54
4.4.1.4.1	Propiedades del pollo	54
4.4.2	CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN INTERNO DEL HORNO	54
4.4.2.1	Cálculo del flujo de calor constante	54
4.4.2.2	Cálculo número de Nusselt del cilindro	55
4.4.3	CÁLCULO DEL NÚMERO DE BIOT	56
4.4.4	BALANCE ENERGÉTICO	57
4.4.4.1	Solución para el estado transitorio	59
4.4.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS EN ESTADO TRANSITORIO	60
4.5	SIMULACIÓN TÉRMICA	61
4.5.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE TEMPERATURAS EN LA SUPERFICIE DEL POLLO	62
4.5.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE TEMPERATURAS EN LA SUPERFICIE DEL AISLANTE	64
4.6	DISEÑO GEOMÉTRICO	66
4.6.1	IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES	66
4.6.1.1	Cámara de cocción	66
4.6.1.1.1	Paredes	66
4.6.1.1.2	Tapa	68

4.6.1.1.3	Base	69
4.6.1.2	Conjunto quemador - regulación de gas	71
4.6.1.3	Apoyos	73
4.6.2	MODELADO	73
4.6.2.1	Cámara de cocción	73
4.6.2.2	Conjunto quemador – regulación de gas	75
4.6.2.3	Apoyos	77
4.6.2.4	Modelo ensamblado	78

CAPÍTULO V

ESPECIFICACIONES CONSTRUCTIVAS DEL HORNO

5.1	INTRODUCCIÓN	79
5.2	MATERIALES	79
5.3	PROCESOS MECÁNICOS	81
5.3.1	CORTE DE LÁMINAS	82
5.3.2	CONFORMADO DE LÁMINAS	82
5.3.3	JUNTAS	83
5.3.4	REMACHADO	83
5.3.5	ROSCADO	83
5.4	MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS	84
5.5	GEOMETRÍA	85
5.6	SECUENCIA DE FABRICACIÓN	85
5.7	PRUEBAS DE CAMPO	86

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE COSTOS

6.1	INTRODUCCIÓN	87
6.2	COSTOS DEL PROYECTO	87
6.2.1	COSTO DE MATERIALES	87
6.2.2	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	89
6.2.3	COSTOS DE DISEÑO	90
6.2.4	COSTO TOTAL	91

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1	CONCLUSIONES	92
7.2	RECOMENDACIONES	94

BIBLIOGRAFÍA	96
---------------------------	----

ANEXOS	97
---------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1.1	Métodos de cocción más apropiados para pollos	5
------------------	---	---

CAPÍTULO II

Tabla 2.1	Temperaturas de superficie exterior e interior en función del tiempo.....	16
Tabla 2.2	Codificación de alternativa.....	24
Tabla 2.3	Criterio de evaluación.....	24
Tabla 2.4	Normalización del criterio de evaluación.....	25
Tabla 2.5	Calificación de la alternativa de acuerdo al criterio de evaluación....	25
Tabla 2.6	Normalizada de Calificación de la alternativa de acuerdo al criterio de evaluación.....	26
Tabla 2.7	Resultado de alternativas.....	26

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1	Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección h.....	44
------------------	---	----

CAPÍTULO V

Tabla 5.1	Resumen de materiales	80
Tabla 5.2	Resumen de máquinas y herramientas.....	84

CAPÍTULO VI

Tabla 6.1	Resumen de materiales	88
Tabla 6.2	Costos por construcción.....	90
Tabla 6.3	Costos por diseño.....	91
Tabla 6.4	Costos totales.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1	Producción de proteína animal en Ecuador.....	2
Figura 1.2	Horno asador eléctrico marca JENDAH.....	9
Figura 1.3	Horno asador a gas marca PROGAS.....	10
Figura 1.4	Horno asador con combustible sólido.....	11

CAPÍTULO II

Figura 2.1	Pollo antes y después del asado para determinación de curvas T vs. t.....	13
Figura 2.2	Corte del pollo asado para determinación de curvas T vs. t.....	14
Figura 2.3	Termómetro infrarrojo marca “RadioShack”	14
Figura 2.4	Identificación de calores de pérdidas	14
Figura 2.4	Determinación de la masa promedio de los pollos.....	17
Figura 2.5	Determinación de la densidad de la carne de pollo.....	17
Figura 2.6	Esquema de horno horizontal rotativo.....	20
Figura 2.7	Esquema cortado de horno vertical.....	21

CAPÍTULO III

Figura 3.1	Representación del análisis de resistencias eléctricas.....	30
Figura 3.2	Esquema de un cilindro hueco.....	33

CAPÍTULO IV

Figura 4.1	Distribución horizontal de los pollos.....	43
Figura 4.2	Identificación de calores en el análisis de resistencias eléctricas para la tapa.....	46
Figura 4.3	Identificación de calores en el análisis de resistencias eléctricas para las paredes.....	46
Figura 4.4	Identificación de calores por pérdidas.....	51

Figura 4.5	Mallado en la superficie del aislamiento.....	62
Figura 4.6	Temperaturas en la superficie del pollo.....	63
Figura 4.7	Comportamiento de la superficie del pollo junto a la pared.....	64
Figura 4.8	Comportamiento del aislante de acuerdo a la temperatura.....	65
Figura 4.9	Esquema de paredes del horno, flujo de mezcla aire-gases.....	67
Figura 4.10	Esquema de paredes del horno, componentes.....	67
Figura 4.11	Esquema de paredes del horno, accesorios.....	68
Figura 4.12	Esquema de tapa del horno, componentes.....	69
Figura 4.13	Esquema de tapa del horno, flujo de mezcla aire-gases.	69
Figura 4.14	Esquema base del horno, componentes.....	70
Figura 4.15	Esquema base, confinamiento de llama y paso de gases y aire.....	71
Figura 4.16	Esquema base, drenado de grasa del fondo.....	71
Figura 4.17	Esquema conjunto quemador y regulación de combustible.....	72
Figura 4.18	Ubicación del válvula reguladora de gas.....	72
Figura 4.19	Separadores.....	73
Figura 4.20	Tapa lateral y tapa secundaria (chimenea).....	74
Figura 4.21	Confinamiento de la llama.....	74
Figura 4.22	Ubicación de los pollos.....	75
Figura 4.23	Quemador.....	75
Figura 4.24	Válvula reguladora de gas.....	76
Figura 4.25	Ubicación del quemador y su tubo.....	76
Figura 4.26	Sujeción de la válvula de regulación de gas.....	77
Figura 4.27	Apoyos.....	77
Figura 4.28	Modelo del horno completo.....	78

CAPÍTULO V

Figura 5.1	Dimensiones generales del horno.....	85
-------------------	--------------------------------------	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO II

Gráfico 2.1	Curvas de Temperatura vs. tiempo del asado de pollo.....	15
--------------------	--	----

CAPÍTULO IV

Gráfico 4.1	Temperatura interior del pollo vs tiempo en punto de cocción.....	58
Gráfico 4.2	Temperatura interior del pollo vs tiempo.....	59
Gráfico 4.3	Temperatura superficial del pollo vs tiempo.....	59
Gráfico 4.4	Temperatura del pollo, comparación temperatura.....	60

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Certificado de calibración de termómetro infrarrojo marca “RadioShack”, proporcionado por la empresa SAURUS ECUADOR.
Anexo 2	Determinación de curvas de T vs t del asado de pollos.
Anexo 3	Determinación de la masa promedio de pollos.
Anexo 4	Determinación de densidad de la carne de pollo.
Anexo 5	Simulación térmica del sistema.
Anexo 6	Simulación de montaje del prototipo.
Anexo 7	Parámetros para soldar en Acero Inoxidable con soldadura TIG.
Anexo 8	Procedimiento de soldadura para Acero inoxidable con soldadura TIG
Anexo 9	Planos de piezas, desarrollo y montaje para construcción del horno para asado de pollos.
Anexo 10	Hojas de procesos para construcción del horno para asado de pollos.
Anexo 11	Protocolo de pruebas para el prototipo construido.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se definen las nociones fundamentales relacionadas con el asado del pollo parrillero. Se menciona la importancia del consumo de la carne de pollo, así como su composición y los fenómenos que ocurren durante la cocción. Además se estudian los tipos de hornos destinados para asado y los mecanismos de transferencia de calor involucrados.

Los libros especializados utilizan al término cocción de forma general, independientemente del método utilizado para tratar a la carne de pollo para el consumidor final.

1.2 CARNE DE POLLO. EL POLLO PARRILLERO ¹

La palabra carne se refiere a aquellas partes de tejido animal, principalmente muscular que se usan como alimento. La mayor parte de la carne de aves en el mercado proviene de pavos y pollos machos jóvenes, otra parte proviene de hembras jóvenes, una cantidad limitada de calidad más baja proviene de hembras maduras. El pollo parrillero es un ave que tiene un método especial de crianza ya que en siete semanas debe estar expuesto para ser asado.

¹ CHARLEY, H.; Tecnología de los alimentos, procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos; México; Limusa; 1991.

1.2.1 PRODUCCIÓN Y COMSUMO DE CARNE DE POLLO

El incremento de consumo per cápita de pollo y huevo demuestran la contribución del sector avícola en la seguridad alimentaria, a través del aprovisionamiento de proteína animal de bajo costo, consumida por la mayoría de la población, independientemente de su nivel de ingresos.

El consumo de carne de pollo y huevos se extiende a nivel nacional y se registran granjas avícolas en todas las provincias del país. La producción es permanente a lo largo del año y el ciclo productivo de un pollo parrillero de engorde es de 42 días con peso promedio de 2.4 kilos.²

En la figura 1.1 se muestra que la carne de pollo es la de mayor demanda en el país, y es una de las razones para seleccionar esta carne en el presente proyecto.



Figura 1.1 Producción de proteína animal en Ecuador

Fuente: www.telegrafo.com.ec/economia/item/ecuador-produce-200-millones-de-pollos-al-ano.html

² www.revistaelagro.com/2013/09/24/analisis-de-la-avicultura-ecuatoriana/

1.2.2 IMPORTANCIA DEL CONSUMO DE CARNE DE POLLO

La carne de pollo es importante en una dieta balanceada en los seres humanos por ser fuentes de proteínas de alta calidad, además de proporcionar vitaminas y minerales que ayudan a desarrollar al máximo la construcción de tejidos, por ello la importancia de su consumo en la infancia.

La carne de pollo aporta cantidades significativas de Vitamina B12, la cual es importante para la prevención de la anemia y el buen funcionamiento del sistema nervioso.

1.2.3 COMPOSICIÓN

La carne de las aves es comparable a la carne de res, cordero y puerco en su composición y valor nutritivo. Las proteínas de la carne de aves, aproximadamente la quinta parte de la porción comestible, son de alta calidad. La carne de pollo es una buena fuente de hierro y fósforo. Ésta, igual que todas las carnes magras, es buena fuente de vitamina B.

El contenido de grasa varía de acuerdo a la edad del pollo, desde menos del 5% en los pollos jóvenes, hasta cerca del 25% en pollos maduros. La carne oscura tiene más grasa y más tejido conectivo que la clara.

1.2.4 IDENTIFICACIÓN DE LA CARNE DE POLLO

Una alta proporción del dinero gastado en alimentos se dedica a la carne de pollo. Es importante conocer los mejores métodos y las técnicas apropiadas para cocinar carne de pollo de forma que sea más agradable. Hay que saber identificar la carne de ave, esto incluye la capacidad de distinguir visualmente entre pavo, pato y pollo, así como conocer la parte del ave de la cual proviene la carne de pollo.

1.2.5 NORMATIVA DE LA CARNE DE POLLO ³

Debido a que la higiene viene desde la crianza del animal, se parte del punto en que la carne de pollo es recibida por quienes realizan la cocción. La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 346:2010 define a “*Canal de aves de corral*: Cuerpo del animal, desangrado y desplumado al cual se le han retirado durante su faenamiento las patas, el cuello, cabeza y vísceras.”

1.2.6 COCIMIENTO DE LA CARNE DE POLLO

Las carnes generalmente se sirven cocidas por una serie de razones válidas. El calor destruye los microorganismos que pueden haber contaminado la superficie y la hace más segura para el consumo humano

El cocimiento también cambia el color, altera la capacidad de retención de agua, afecta la suavidad, desarrolla el sabor y especialmente el aroma característico de la carne.

El principio para la cocción de la carne de pollo es básicamente el mismo que para la cocción de la carne roja. El método de cocción se selecciona de acuerdo con la suavidad de la carne y contenido de grasa, ambas consecuencias principalmente de la edad de pollo.

Los pollos jóvenes suaves se pueden cocinar asándolos. Para los pollos viejos más duros, los métodos con medios húmedos permiten mayor tiempo para suavizar la carne sin que se reseque.

³ law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2346.2010.pdf

1.2.7 MÉTODOS DE COCIDO DE LA CARNE DE POLLO

Los métodos de cocido de la carne se clasifican como *métodos secos y húmedos* dependiendo del medio que rodee a la carne al cocerse. El método húmedo incluye aquellos métodos en que la carne se cuece en un utensilio cubierto, donde el agua se añade o la carne se cuece en el vapor o líquido que se libera a medida que se coagulan las proteínas.

El cocido con medio seco abarca aquellos métodos en el que se cuece la carne sin añadir agua y sin tapar el recipiente, de manera que la humedad de la carne puede evaporarse. La carne se expone a energía radiante o está en contacto con el aire caliente.

De acuerdo a la edad del pollo se selecciona el método más apropiado para la cocción. Ver tabla 1.1.

Tabla 1.1 Métodos de cocción más apropiados para pollos

EDAD DEL POLLO	MÉTODO
7 a 9 semanas	asar
9 a 12 semanas	freír, saltear, hornear
4 meses en adelante	rostizar, hornear
8 meses a 1 año	rostizar
18 a 22 meses	rostizar (calor húmedo), saltear
4 a 6 meses	rostizar, saltear.

Fuente: CHARLEY, H.; *Tecnología de los alimentos, procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos*; México; Limusa; 1991.

1.2.8 GRASAS Y ACEITES EN LOS ALIMENTOS

Las grasas son una parte integral de casi todos los alimentos, contribuyen o modifican su sabor e influyen en su sensación bucal. Sin embargo, en los tiempos actuales el consumidor impone el requerimiento de alimentos con la cantidad más baja de grasa que sea posible conseguir sin que el sabor se vea comprometido.

La razón principal para demandar alimentos bajos en grasa se relaciona con los beneficios que aportan para una vida saludable. El exceso en el consumo de grasa acarrea problemas para la salud tan graves como la deficiencia cardíaca, con la cual el rendimiento físico del cuerpo se ve disminuido y la probabilidad de sufrir fallas de corazón es alta.

Existen además razones estéticas, gran parte de la población tiene el deseo de poseer un cuerpo atlético y marcado. La grasa es uno de los impedimentos principales para lograr este objetivo ya que se acumula sobre los músculos y se la percibe visualmente bajo la piel. Se evita el gasto de un gran esfuerzo si a cambio de eliminar grasa con ejercicio físico se evita consumirla.

Además, la grasa junto con otros malos hábitos alimenticios son causantes de acné no solo en los jóvenes sino también en adultos de edades avanzadas. Evitar consumir grasa es evitar estas erupciones en la piel y las marcas que generan.

Una gran ventaja que posee el horno vertical es que se obtienen pollos con una cantidad de grasa muy baja, ya que la posición de los pollos permite el libre goteo de la grasa al fondo del horno sin que caiga sobre otros pollos o que una rotación innecesaria mantenga a la grasa circulando en ellos.

1.2.8.1 Consistencia de las grasas

La consistencia de una grasa influye en sus propiedades funcionales en la preparación de los alimentos. Las grasas pueden ser líquidas a temperatura ambiente (aceites) o plásticas (grasas sólidas). A medida que la temperatura de una grasa plástica se eleva, los cristales se derriten. Aquellas formadas por

triglicéridos con puntos de fusión más bajos, se derriten primero. La grasa reblandece y posteriormente se hace líquida.

1.2.8.2 Composición de la grasa de los alimentos

La mayoría de las llamadas “grasas visibles” que se consumen son grasas puras. En este grupo se encuentran la manteca (principalmente la de tejido graso del cerdo), aceites vegetales (de coco, maíz, algodón, oliva, cacahuate, cártamo, ajonjolí, soya y girasol) y mantecas vegetales hidrogenadas.

Las “*grasas invisibles*” se consumen en mayores cantidades que las visibles. Un número determinado de alimentos contiene cantidades apreciables de grasa invisible. Entre ellos están carnes, aves, ciertos pescados. Queso de leche entera. Chocolate, yema de huevo, aguacates, así como pasteles, galletas, aderezos de ensalada, nueces y alimentos fritos.

La grasa de pollo tiene una mayor proporción de ácidos grasos insaturados que la grasa de la carne de res o de cerdo.

1.3 CALENTAMIENTO DE LOS ALIMENTOS ⁴

La energía que se aplique interviene en muchos puntos de la preparación de los alimentos. Cuando una sustancia se calienta, las moléculas se colocan en una fase de movimiento o se agitan. Si el calentamiento se realiza con un quemador de gas, la energía que pone y mantiene las moléculas en movimiento, se obtiene a partir de la combustión. La resistencia al paso de una corriente eléctrica a través de las espiras del elemento de calentamiento, es la fuente de calor en una parrilla eléctrica.

⁴ CHARLEY, H.; Tecnología de los alimentos, procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos; México; Limusa; 1991.

Inicialmente el horno es precalentado antes de colocar en su interior los pollos para el asado hasta la temperatura del ambiente en el cual la carne de pollo debe cocerse. Esta temperatura es la que los hornos marcan en los termómetros para el control del proceso.

El calentamiento de la carne de pollo debe hacerse hasta que alcance la temperatura apropiada de cocción, es decir que existirá un intervalo de tiempo inicial en que se eleva la temperatura hasta que se equilibra en un punto, y un tiempo posterior en que se mantiene a esta temperatura hasta que la carne llegue al punto de bien cocida, y se puede obtener gracias a la experiencia de personal especializado en asado de pollos

1.4 HORNOS

Un horno es una cámara aislada a alta temperatura, donde el calor se transfiere desde una fuente a un sumidero, principalmente por radiación. En algunos casos la transferencia de calor también se puede presentar por convección y conducción. Útil tanto en la cocina para cocinar, calentar o secar alimentos, como en la industria⁵.

1.4.1 CLASIFICACIÓN DE HORNOS ASADOR ⁶

Las altas temperaturas en un horno asador se consiguen de acuerdo a la siguiente clasificación:

- de acuerdo a la naturaleza de la fuente de calor instalada
- de acuerdo a la capacidad de producción del horno.

⁵ es.wikipedia.org/wiki/Horno

⁶ es.wikipedia.org/wiki/Horno#Tipos_de_hornos

1.4.1.1 Por la naturaleza de la fuente instalada

- Horno asador eléctrico
- Horno asador a gas
- Horno asador con combustible sólido

1.4.1.1.1 Horno asador eléctrico

Son hornos alimentados con energía eléctrica de múltiples usos, fácil manejo y comodidad. Con el desarrollo del PLC, se desarrollan hornos eléctricos muy útiles y fiables, llegando a obtener temperaturas y tiempos de cocción controlados que en la antigüedad no se conseguían. El costo de operación es mayor en comparación a cualquier horno asador que utilice combustible sólido o gas. Producen emisiones gaseosas moderadas. Ver figura 1.2.



Figura 1.2 Horno asador eléctrico marca JENDAH

Fuente: www.archiexpo.es/prod/jendah-food-machinery/hornos-asadores-electrico-50145-467620.html

1.4.1.1.2 Horno asador a gas

El avance tecnológico en la utilización de gas natural en los hornos, conlleva a conceder una opción viable en su utilización.

Tanto por la reducción en tiempos de cocción de los alimentos, como la reducción de emisiones al ambiente.

La regulación de la atmosfera en el interior del horno se consigue variando la inyección de la mezcla de gas y aire. Se consigue regulando el flujo de gas por medio de una válvula de uso industrial que gradúa la llama evitando el uso innecesario de gas. Se alcanzan altas temperaturas en tiempos cortos. Ver figura1.3.



Figura 1.3 Horno asador a gas marca PROGAS

Fuente: www.todomercado.com/Comercio/Horno-Asador-de-Pollos-PROGAS.view?id=1358786092533

1.4.1.1.3 Horno asador con combustible sólido

Funcionan a partir de materiales forestales. Presentan mayor cantidad de emisiones de dióxido de carbono y tiempos largos en la cocción de los alimentos. Aunque los alimentos presentan sabores especiales, este tipo de hornos permite la formación de cenizas, partículas y hollín. Ver figura1.4.



Figura 1.4 Horno asador con combustible sólido

Fuente: www.rumford.com/oven/oven24sp.html

1.4.1.2 Por la capacidad de producción del horno

- Horno asador de uso doméstico
- Horno asador de uso comercial

1.4.1.2.1 Horno asador de uso doméstico

Su capacidad máxima es de 2 o 3 kilos.

1.4.1.2.2 Horno asador de uso comercial

Su capacidad máxima depende del tamaño del horno.

CAPÍTULO II

PARAMETROS PARA EL DISEÑO DEL HORNO

2.1 INTRODUCCIÓN

Los parámetros del diseño son condiciones o datos involucrados en el proceso de asado de pollos parrilleros, que se consideran necesarios para el diseño del horno. Estos parámetros y condiciones se deben cumplir para asegurar un adecuado funcionamiento del horno y se definen a partir de los requerimientos impuestos por el usuario del horno.

2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El usuario es el dueño de un asadero que ha decidido ampliar la producción de pollo asado debido al incremento de demanda en los últimos años. El negocio se encuentra ubicado en la región costa y cuenta con un proveedor constante de carne de pollo, ambos con los permisos de higiene y salubridad respectivos al tipo de negocio.

El usuario ha manifestado que el horno debe tener las siguientes características:

- Capacidad para 10 pollos
- Producto con mínima cantidad de grasa
- Fácil operación y mantenimiento
- Bajo costo del horno
- Combustible GLP

2.3 ESTUDIO DE CAMPO

Para garantizar el adecuado ambiente de cocción requerido se realiza un estudio de campo para determinar la temperatura en función del tiempo del pollo durante el proceso. Por otro lado se necesita de la densidad de la carne del pollo, seguido de la masa promedio de pollos disponibles en el mercado.

2.3.1 TEMPERATURA Y TIEMPO DE COCCIÓN

La carne de pollo debe asarse hasta el interior de la misma para que sea comercializada. Con este propósito en mente se decide realizar las pruebas de asado que sean necesarias hasta obtener el producto con las características requeridas para el consumo.

La figura 2.1 muestra al pollo antes y después del asado.



Figura 2.1 Pollo antes y después del asado para determinación de curvas T vs. t

Fuente: Propia

La figura 2.2 muestra un corte del pollo asado de la prueba final.



Figura 2.2 Corte del pollo asado para determinación de curvas T vs. t

Fuente: Propia

Para determinar las temperaturas mencionadas se utiliza un termómetro infrarrojo marca “RadioShack”, proporcionado por la empresa SAURUS ECUADOR y mostrado en la figura 2.3, cuyo certificado de calibración vigente se adjunta en el Anexo 1.



Figura 2.3 Termómetro infrarrojo marca RadioShack

Fuente: Propia

Las mediciones se realizan apuntando el termómetro hacia la superficie exterior del pollo, se anota la medición de temperatura e inmediatamente se apunta el termómetro hacia la superficie interior del pollo, que rodea al espacio dejado por las vísceras, se anota dicha temperatura y se repite el proceso para los tiempos siguientes.

Gracias a recomendaciones de expertos, la carne de pollo asada con las características mencionadas se obtiene en la prueba número 3, cuyos valores de tiempo y temperatura se presentan en el Anexo 2.

La tabla 2.1 detalla los valores de las curvas T vs. t obtenidas en la prueba final, mostradas en el gráfico 2.1.

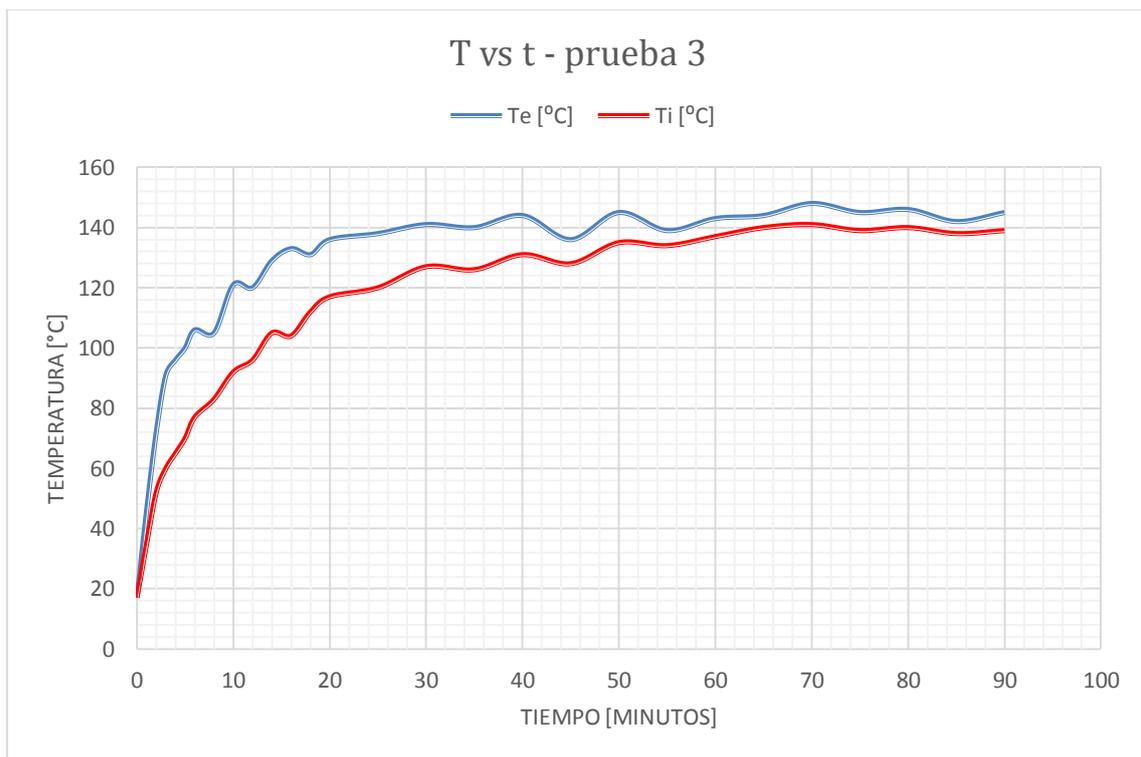


Gráfico 2.1 Curvas de Temperatura vs. tiempo del asado de pollo.

Fuente: Propia

Tabla 2.1 Temperaturas de superficie exterior (Ts-e) e interior (Ts-i) vs. tiempo.

t[min]	Ts-e [°C]	Ts-i [°C]	t[min]	Ts-e [°C]	Ts-i [°C]
0	17	17	25	138	120
1	46	35	30	141	127
2	72	52	35	140	126
3	91	60	40	144	131
4	96	65	45	136	128
5	100	70	50	145	135
6	106	77	55	139	134
8	105	83	60	143	137
10	121	92	65	144	140
12	120	96	70	148	141
14	129	105	75	145	139
16	133	104	80	146	140
18	131	112	85	142	138
20	136	117	90	145	139

Fuente: Propia

De este estudio se advierte que la temperatura de la superficie externa del pollo debe llegar aproximadamente a 145 °C, durante un tiempo alrededor de 90 minutos.

2.3.2 MASA PROMEDIO

Para determinar la masa promedio se utiliza una balanza mecánica y se anota la masa de 30 pollos, entregados durante los meses de enero y febrero del 2014 por el distribuidor al “MICROMERCADO MARIANITA DE JESUS”, cuya propietaria gentilmente proporciona los datos de masa de los pollos, ver figura 2.4.

Los valores de estas mediciones se detallan en el Anexo 3.

Se obtiene una masa promedio de 2,4 Kg por cada pollo.



Figura 2.4 Determinación de la masa promedio de los pollos

Fuente: Propia

2.3.3 DENSIDAD DE LA CARNE DE POLLO

Para determinar la densidad se seleccionan 6 pollos jóvenes y se cortan trozos medibles únicamente del musculo magro. ver figura 2.5. Se realiza la medición del volumen de cada corte y se obtiene volumen total, luego se determina la masa total de este volumen con la balanza mencionada en el ítem anterior .

Los valores de estas mediciones se detallan en el Anexo 4.

Se obtiene una densidad de la carne de pollo de $0,96 \text{ g/cm}^3$.



Figura 2.5 Determinación de la densidad de la carne de pollo, cortes medibles.

Fuente: Propia

2.4 PROPIEDADES GENERALES DEL EQUIPO

A continuación se mencionan las propiedades que debe poseer un horno destinado al asado de pollos.

2.4.1 AMBIENTE DE TRABAJO

En el proceso de asado de carne se emite elevadas cantidades de radiación, elevando la temperatura del ambiente, por lo cual es necesario colocar el horno en un lugar que tenga buena ventilación, además de aislar el horno para reducir el calor emitido.

2.4.2 SALUBRIDAD

La salubridad es uno de los parámetros más importantes en el diseño del horno, y en vista que se preparan alimentos, la selección de los materiales debe cumplir con los requerimientos de salubridad. Los materiales a utilizarse no deben producir oxidación en ningún momento de su vida útil, caso contrario, esto contaminaría los alimentos.

2.4.3 PRESENTACIÓN REQUERIDA

La carne debe presentarse al consumidor en el punto de "*bien cocido*", cuyas características son:

- Cocido hasta la parte interna de la carne del pollo
- La cantidad de grasa debe ser tal que reduzca el riesgo de problemas de salud, y además la suficiente para que el sabor y consistencia no se vean comprometidos.
- No debe presentar un color negro, ya que esto muestra que ha sido quemada, en cuyo caso no es del agrado para los consumidores.

2.5 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

El estudio de alternativas se enfoca en una selección eficiente, económica y de fácil utilización al problema planteado. La capacidad de desarrollar alternativas es a menudo tan importante como la habilidad de elegir correctamente entre ellas.

Buscando solucionar necesidades que existen en nuestro medio se ha realizado un análisis comparativo entre dos alternativas hornos asadores viables.

Al seleccionar alternativas se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- Factores cuantitativos: factores que deben ser medibles en tiempos y costos.
- Factores cualitativos: factores que miden calidad, relativo de trabajo, riesgo de cambio tecnológico.

Dentro de las múltiples soluciones que se presentan, se desarrollan las siguientes:

- Horno horizontal rotatorio para el asado de pollos parrilleros
- Horno vertical para el asado de pollos parrilleros

2.5.1 HORNO HORIZONTAL ROTATORIO PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS

Es un horno que posee una cámara de cocción redonda para facilitar la circulación del aire. El producto a cocer debe estar en movimiento, esto se consigue instalando un motor que facilite la rotación al dispositivo donde va a estar instalado el producto. Ver figura 2.4.

2.5.1.1 Ventajas

- Cocción del producto uniforme
- Menor tiempo de cocción

- Gran capacidad
- Consumo de gas bajo

2.5.1.2 Desventajas

- Costo adicional por consumo de energía del motor
- Costo elevado de fabricación y mantenimiento
- Exceso de grasa en el producto por el goteo frecuente.
- Mayor volumen de espacio ocupado por el equipo
- Dificultad de acceso al producto
- Mayor tiempo de montaje

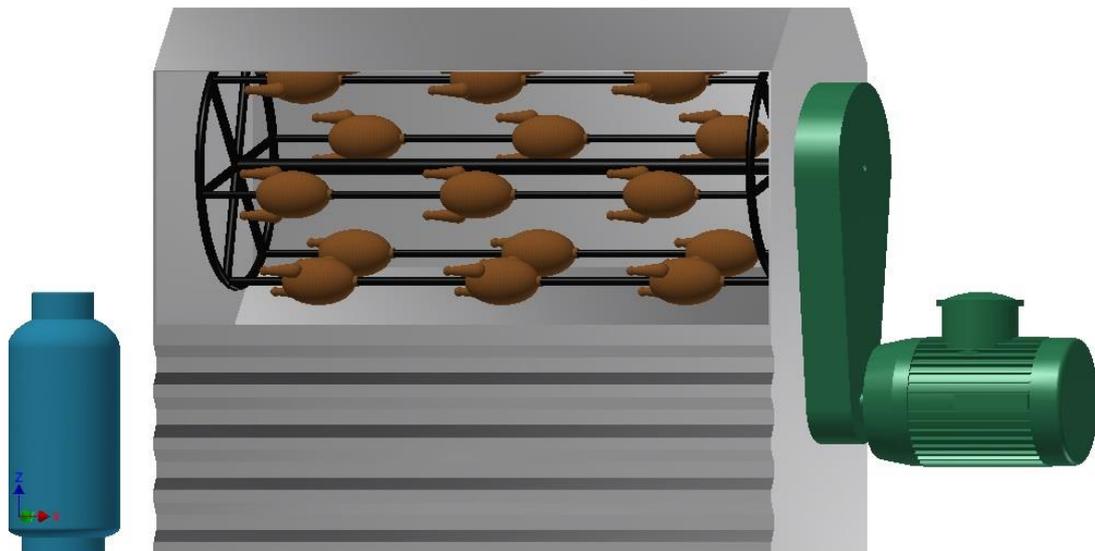


Figura 2.6 Esquema de horno horizontal rotativo.

Fuente: Propia

2.5.2 HORNO VERTICAL PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS

Es un horno de fácil construcción y mantenimiento. El producto a cocer se lo ubica en la parte superior de manera paralela al horno, dando mayor capacidad de producción. Ver figura 2.5.

2.5.2.1 Ventajas

- Cocción del producto uniforme
- Capacidad media
- Costo de fabricación y mantenimiento bajo
- Reducción de grasa del producto
- La grasa se deposita en la parte inferior
- Fácil acceso al producto
- Menor área ocupada por el equipo
- Fácil limpieza del horno
- Menor tiempo de montaje

2.5.2.2 Desventajas

- Mayor consumo de gas



Figura 2.7 Esquema cortado de horno vertical.

Fuente: Propia

2.5.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

La selección de alternativa consiste en elegir la opción adecuada considerando los parámetros del horno. El criterio en la selección de la alternativa, debe estar representado de acuerdo al grado de importancia. Para determinar la alternativa idónea se analizan las ventajas y desventajas de cada una de las opciones de diseño.

2.5.3.1 Factores para la evaluación de alternativa

Para seleccionar una alternativa propuesta se toma en cuenta los siguientes factores:

2.5.3.1.1 Costos

Se evalúa el costo de construcción y mantenimiento, el cual es un factor que hace que el equipo sea competitivo frente a otros que cumplen la misma función.

2.5.3.1.2 Facilidad de construcción y montaje

La facilidad de construcción del equipo abarata los costos. Se evalúa si los elementos que conforman el horno son de fácil construcción, además si el ensamble requiere de mano de obra calificada para su ejecución y de herramientas especiales.

2.5.3.1.3 Peso

Se evalúa el peso, debido a la importancia de alivianar el horno, sin afectar la seguridad.

2.5.3.1.4 Facilidad de mantenimiento

Se evalúa la facilidad de realizar mantenimiento para definir si se requiere o no de personal calificado para su realización, ya que de esto depende el buen funcionamiento del equipo.

2.5.3.1.5 Facilidad de operación

Se evalúa la facilidad que proporciona el equipo a ser puesto en funcionamiento, de esta manera se garantiza que cualquier persona pueda disponer del equipo cuando ello lo requiera.

2.5.3.1.6 Seguridad

Se evalúa el equipo al soportar condiciones límites, garantizando en dichas condiciones el bienestar del operador.

2.5.3.2 Método de evaluación de alternativa

Para la selección de la mejor alternativa de las planteadas se lleva a cabo el producto de dos matrices para cada una de las alternativas planteadas.

La primera matriz consta de la calificación que tiene cada alternativa de acuerdo a la diferencia de criterios de selección.

La segunda matriz es formada por los valores ponderados de cada uno de los diferentes criterios.

Escala de calificación: 10 – Bueno

1 – Malo

A continuación se evalúan los factores señalados. La puntuación de importancia se obtiene después de analizar los atributos de cada una de las alternativas; se selecciona aquella que contenga el puntaje más alto.

Se realiza una codificación de alternativas en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Codificación de alternativa

CÓDIGO	ALTERNATIVA
A	Horno horizontal rotatorio para el asado de pollos parrilleros
B	Horno vertical para el asado de pollos parrilleros

Fuente: Propia

En la tabla 2.3 se muestra la ponderación de los criterios tomados en cuenta.

Tabla 2.3 Criterio de evaluación

CÓDIGO	CRITERIO	PONDERACIÓN
I	Bajo costo	10%
II	Facilidad de construcción	15%
III	Facilidad de montaje	15%
IV	Peso	10%
V	Facilidad de mantenimiento	20%
VI	Facilidad de operación	20%
VII	Seguridad	10%
	Total	100%

Fuente: Propia

En la tabla 2.4 se muestra el resultado de la normalización de los criterios de evaluación.

Tabla 2.4 Normalización del criterio de evaluación

CÓDIGO	CRITERIO	PONDERACIÓN
I	Bajo costo	0,10
II	Facilidad de construcción	0,15
III	Facilidad de montaje	0,15
IV	Peso	0,10
V	Facilidad de mantenimiento	0,20
VI	Facilidad de operación	0,20
VII	Seguridad	0,10
	Total	1,00

Fuente: Propia

En la tabla 2.5 se muestra la calificación de cada alternativa de acuerdo al criterio de evaluación.

Tabla 2.2 Calificación de la alternativa de acuerdo al criterio de evaluación

Criterio \ Alternativa	I	II	III	IV	V	VI	VII
A	5	6	7	6	8	7	8
B	8	8	8	8	9	8	9
Σ	13	14	15	14	17	15	17

Fuente: Propia

En la tabla 2.6 se muestra la calificación de cada alternativa de acuerdo al criterio de evaluación.

Tabla 2.3 Normalizada de Calificación de la alternativa de acuerdo al criterio de evaluación

Criterio Alternativa	I	II	III	IV	V	VI	VII
A	0,38	0,43	0,47	0,43	0,47	0,50	0,47
B	0,62	0,57	0,53	0,57	0,53	0,50	0,53
Σ	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Propia

En la tabla 2.7 se muestra los resultados obtenidos para cada una de las alternativas.

Tabla 2.4 resultado de alternativas

CÓDIGO	ALTERNATIVA	RESULTADO
A	Horno horizontal rotatorio para el asado de carne	0,46
B	Horno vertical para el asado de carne	0,54
	Σ	1

Fuente: Propia

Luego de haber efectuado las evaluaciones correspondientes a cada una de las alternativas descritas anteriormente se advierte que la mejor alternativa es el "HORNO VERTICAL PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS".

2.6 PARÁMETROS FUNCIONALES

Las especificaciones son requerimientos necesarios para el diseño, ya que de esto depende su obtención exitosa y a la vez permite garantizar la calidad tanto del horno como de la carne asada. Las especificaciones son un parámetro funcional del horno. Del estudio de campo, requerimientos del usuario y selección de alternativas se pueden definir lo siguiente:

- Tipo: Horno vertical
- Capacidad: 10 pollos
- Combustible utilizado: Gas natural GLP
- Condiciones ambientales: nivel del mar
- Temperatura de superficie externa del pollo: 145 °C
- Tiempo por carga: 90 minutos

2.7 RESTRICCIONES Y LIMITACIONES

Aunque el diseño proporcione las mejores condiciones de funcionamiento, debe tenerse en cuenta restricciones que pueden hacer desistir de su construcción.

2.7.1 Restricción de materiales

El material es una de las principales restricciones, es necesario seleccionar materiales que soporten temperaturas superiores a las que se encuentra la cámara de cocción durante el proceso de asado de pollos. Los elementos que van a contener y manipular el producto deben de ser de acero inoxidable.

2.7.2 Restricción de seguridad

El horno va a trabajar con rangos de temperaturas elevados, situación por la cual se debe colocar aislante térmico para evitar accidentes a las personas que

manipulan el horno. Además se debe colocar aislamiento térmico para evitar que el ambiente de trabajo se caliente por el efecto de radiación.

2.7.3 Restricciones de operación

Poner en marcha al horno tiene que ser sencillo, es decir las instrucciones de uso deben de fácil comprensión para cualquier operador.

2.7.4 Restricción económicas

El costo del producto tiene que ser competitivo en comparación con otros tipos de hornos que existen en el mercado, por lo cual la selección de los materiales es importante al momento de construirlo. Los materiales seleccionados en el diseño deben existir en el país, caso contrario importar material aumentará el costo del horno. Además, el diseño del horno debe ser de tal manera que la fabricación del mismo involucre únicamente a los procesos necesarios.

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO

3.1 INTRODUCCIÓN

Se plantea un modelo matemático para el análisis del fenómeno de transferencia de calor por convección libre con un flujo de calor constante suministrado, el intercambio de radiación entre la superficie del horno se considera como un cuerpo gris, y las paredes internas del horno y los alrededores considerados como cuerpos negros. Además, se establecen los modelos bajo condiciones de estado estable y estado transitorio.

3.2 MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL ANALISIS DE ESTADO ESTABLE

El objetivo de realizar el análisis en estado estable será de encontrar el espesor adecuado del aislante en función del calor a ser disipado por las paredes del horno.

En el planteamiento se debe tener en cuenta las consideraciones que se hacen como una aproximación para la resolución de los modelos matemáticos, tales consideraciones son las siguientes:

- No existe generación interna de energía.
- Las paredes internas del horno se consideran como superficies negras y las externas como superficies grises.
- Se considera un coeficiente de calor por convección promedio alrededor de la superficie horno.

- La temperatura de pared en el interior del cilindro es similar a la temperatura de los gases en el interior y es constante. Esta consideración se hace para facilitar los cálculos.
- La temperatura de la superficie exterior es la misma a lo largo de toda la superficie del cilindro y de forma similar ocurre con la pared interior.
- Todo sistema por más que este aislado, en la realidad siempre presenta pérdidas, por lo cual se asume pérdidas por paredes y tapa de un 10% del calor que entrega el quemador al sistema. Este valor es recomendado por personas con experiencia en la fabricación de hornos.
- Se considera al pollo como una esfera de masa similar.

3.2.1 CIRCUITO TÉRMICO PARA LA CONFIGURACIÓN DADA EN ESTADO ESTABLE

La transferencia de calor por conducción, radiación y convección entre las superficies consideradas, en estado estable, se puede representar utilizando analogías de circuitos eléctricos, donde el flujo es el calor y la variable de impulso es la diferencia de temperaturas.

El flujo de calor indicado en la figura 3.1 esta expresado en función de la resistencia térmica y la diferencia de temperaturas en las paredes del horno.

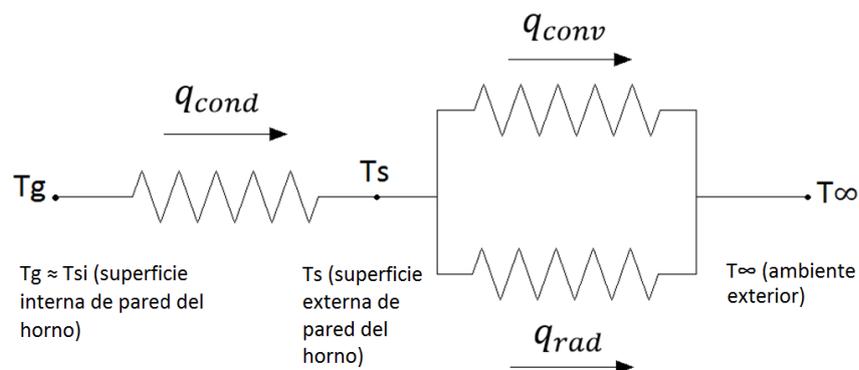


Figura 3.1 Representación del análisis de resistencias eléctricas

Fuente: Propia

El balance energético queda de la siguiente manera:

$$q_k = q_c + q_r \quad (3.1)$$

Donde:

q_k = Calor de conducción

q_c = Calor de convección

q_r = Calor de radiación

De acuerdo a la ecuación 3.1 el calor que se conduce por conducción a través de las paredes del aislante y se divide en dos calores que son el calor de convección y el calor de radiación.

3.2.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN ⁷

La conducción se da dentro de un mismo cuerpo o en el contacto directo entre más de uno, y se produce cuando hay un gradiente de temperatura sin intercambio de materia. La energía fluye desde un punto de mayor temperatura hacia uno de menor temperatura debido al movimiento molecular aleatorio – difusión. La conducción, se asocia al intercambio de energía interna. Las temperaturas más altas se asocian con las energías moleculares más altas y cuando colisionan transfieren energía de las moléculas más energéticas a las menos energéticas.

La Transferencia de Calor por conducción es un proceso complicado, pero para propósitos ingenieriles se recurre a la ecuación de Fourier; ésta establece que la rapidez de transferencia de energía por unidad de área es proporcional al gradiente de temperatura, introduciendo la constante de proporcionalidad, se obtiene:

⁷ HOLMAN, J.; Transferencia de Calor; 7ma Edición; México; 1990

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (3.2)$$

Donde:

q = Tasa de transferencia de calor (W)

$\partial T / \partial x$ = Gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor (K/m)

k = Conductividad térmica del material (W/m·K)

A = Área normal a la dirección del flujo de calor (m²)

El signo negativo es necesario en la ecuación 3.2, debido a que el flujo de calor por conducción se da en la dirección de un gradiente de temperatura decreciente.

3.2.2.1 Conducción radial en estado estable de cilindros huecos ⁸

En sistemas radiales de cilindros huecos, para condiciones de estado estable, sin generación interna de energía y despreciando conducción angular y axial, de acuerdo con el sistema mostrado en la figura 3.2, la distribución de temperatura es:

$$T(r) = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{\ln(r_1/r_2)} \ln\left(\frac{r}{r_2}\right) + T_{s,2} \quad (3.3)$$

Donde:

$T_{s,1}$ = Temperatura de la superficie interior del cilindro (°C)

$T_{s,2}$ = Temperatura de la superficie exterior del cilindro (°C)

r_1 = Radio interior del cilindro hueco (m)

r_2 = Radio exterior del cilindro hueco (m)

⁸ INCROPERA, F.; Fundamentos de Transferencia de Calor; 4ta Edición; México; 1996.

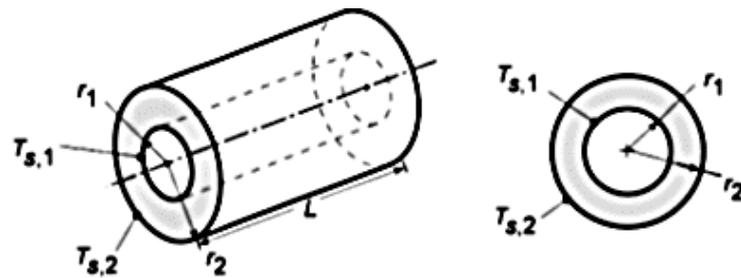


Figura 3.2 Esquema de un cilindro hueco.

Fuente: INCROPERA, F.; Fundamentos de Transferencia de Calor; 4ta Edición; México; 1996.

Si la distribución de temperaturas, ecuación 3.3, se usa ahora con la ley de Fourier, se puede obtener una ecuación para el flujo de calor:

$$q_r = \frac{2\pi Lk(T_{s,1} - T_{s,2})}{\ln(r_2/r_1)} \quad (3.4)$$

Donde:

L = Longitud del cilindro (m)

3.2.3 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN ⁹

La convección se relaciona con el cambio de energía que ocurre entre una superficie y un fluido adyacente. Debe hacerse una distinción entre convección forzada, en la cual se hace pasar un flujo por una superficie sólida usando un medio externo, tal como un ventilador o una bomba y la convección libre o natural, en la que un fluido más caliente (o más frío), que se encuentra próximo a la frontera sólida, ocasiona la circulación a causa de la diferencia de densidades que resulta de la variación de temperatura en una región del fluido.

⁹ WELTY, J.; Fundamentos de Transferencia de Momento, Calor y Masa; 1ra Edición; Oregón; 1963

La ecuación de Newton de la rapidez o “ley de Newton” del enfriamiento corresponde a la rapidez de Transferencia de calor convectivo:

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (3.5)$$

Donde:

q = Tasa de Transferencia de calor por convección (W)

h = Coeficiente de convección (W/m².K)

A = Área superficial (m²)

T_s = Temperatura de la superficie del solido (°C)

T_∞ = Temperatura del fluido (°C)

La ecuación 3.5 toma en cuenta que $T_s > T_\infty$, para el caso en que $T_s < T_\infty$ la variación de temperatura estará dada por $(T_\infty - T_s)$.

3.2.4 TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADICIÓN ¹⁰

La radiación térmica consiste en la energía electromagnética en transporte. Esta energía electromagnética es característica de los materiales. Cualquier material, por el hecho de estar a temperatura superior a 0 K, emiten energía radiante. Esta energía se transporta y cuando llega a un material es absorbida total o parcialmente. Ésta generalmente se transforma en energía interna (el material se calienta). La emisión de esta energía radiante es función de la temperatura del cuerpo.

La transferencia de calor por radiación desde la superficie, esta expresada por la ecuación 3.6:

¹⁰ ESPLUGAS, S; Fundamentos de transmisión de calor; Textos Docentes 305; España, 2005.

$$q_{rad} = \varepsilon \sigma A (T^4 - T_{alr}^4) \quad (3.6)$$

Donde:

q_{rad} = Transferencia de calor por radiación (W)

ε = Emisividad

σ = Constante de Stefan – Boltzmann ($\sigma = 5.670 \cdot 10^{-8} \text{ W /m}^2 \text{ K}^4$)

A = Área superficial (m^2)

T = Temperatura absoluta de la superficie (K)

T_{alr} = Temperatura absoluta de la de los alrededores (K)

En el análisis de la transferencia de calor por radiación desde la superficie del cilindro hacia los alrededores se considera al cilindro como un cuerpo gris cuya emisividad está dada por el material del cilindro seleccionado.

3.3 MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL ANALISIS DE ESTADO TRANSITORIO

Las variaciones de las condiciones del ambiente provoca que el horno casi nunca este en equilibrio, sino que esté sometido a procesos variables de aumento o disminución de la temperatura, con una acumulación o disminución de calor en su seno debido a la propiedad física de la masa denominada calor específico (C_p).

Por esta razón se calcula el tiempo de estabilización. Para ello se realiza un balance energético en estado transitorio, en el cual se introduzca el término de la variación de la temperatura en función del tiempo.

3.3.1 BALANCE ENERGÉTICO EN ESTADO TRANSITORIO¹¹

Con un estudio previo se determinó que el método de la resistencia interna despreciable no es apropiado para el análisis del problema, por lo cual debe usarse métodos alternativos para encontrar la solución apropiada o cercada a lo deseado en el diseño del horno.

En su forma más general, se trata de un problema de conducción transitoria descrito mediante la ecuación de calor 3.7 sin generación interna de energía y con la suposición de conductividad térmica constante

La forma general del requerimiento de conservación de la energía es:

$$\dot{E}_e - \dot{E}_s = \dot{E}_a \quad (3.7)$$

Donde:

\dot{E}_e = energía que entra

\dot{E}_s = energía que sale

\dot{E}_a = energía que se almacena

La energía que entra es la energía entregada por la potencia del quemador seleccionado, la energía utilizada es del 80% de la potencia del quemador. La energía que sale en este caso no se da o es un valor no apreciable, todo el ambiente se encuentra a la misma temperatura de la superficie del producto. La energía almacenada corresponde a la energía que produce el cambio de temperatura en función del tiempo, los cambios de energía se deben solo a cambios en la energías térmica interna.

Por lo tanto se plantea la siguiente ecuación:

¹¹ INCROPERA, F.; Fundamentos de Transferencia de Calor; 4ta Edición; México; 1996.

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \rho C_p V \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.8)$$

Donde:

r = Radio (m)

T = Temperatura (°C)

ρ = Densidad (kg/m³)

C_p = Calor específico (J/kg* K)

V = Volumen (m³)

t = Tiempo (t)

3.3.2 CONDUCCIÓN DE CALOR EN ESFERAS CON EFECTOS ESPACIALES¹²

En general, la temperatura dentro de un cuerpo cambia de punto a punto así como de tiempo en tiempo. La ecuación 3.11 considera la variación de la temperatura con el tiempo y la posición en problemas unidimensionales.

Con el fin de reducir el número de parámetros, se quitan dimensiones al problema mediante la definición de las siguientes cantidades adimensionales.

Coficiente adimensional de transferencia de calor, número de Biot:

$$Bi = \frac{hr}{k_s} \quad (3.9)$$

Donde:

h = Coeficiente de convección (W/m²*K)

r = Radio (m)

¹² CENGEL, J.; Transferencia de Calor y Masa; 3ra Edición; México; 2007.

k_s = Conductividad térmica (W/m·K)

Tiempo adimensional o número de Fourier:

$$\tau = \frac{\alpha t}{r^2} \quad (3.10)$$

Donde:

α = Difusividad térmica (m²/s)

t = tiempo (s)

m = radio (m)

El problema de conducción de calor unidimensional en régimen transitorio para el un punto interior de una esfera es:

$$\theta_{r,esf} = \frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty} = A_1 e^{-\lambda_1^2 \tau} * \frac{\text{seno}\left(\lambda_1 * \frac{r}{r_0}\right)}{\lambda_1 * \frac{r}{r_0}} \quad (3.11)$$

Conocido el número de Biot, se determina las constantes A_1 y λ_1 , tabuladas en el texto de referencia.

Para $\tau > 0,2$ la solución converge con rapidez al crecer el tiempo.

3.3.3 SUPERFICIES CON FLUJO DE CALOR CONSTANTE ¹³

Si el espesor de la capa límite no es grande comparado con el diámetro del cilindro, la transferencia de calor puede calcularse con las mismas relaciones para placas verticales.

¹³ HOLMAN, J.; Transferencia de Calor; 7ma Edición; México; 1990

Cuando el flujo de calor es constante los resultados se presentan en términos de número de Grashof modificado, Gr^* :

$$Gr_x^* = Gr_x Nu_x = \frac{g\beta q_w x^4}{k_f \nu^2} \quad (3.12)$$

Donde:

Gr^* = Número de Grashof modificado

g = Gravedad (9,81 m/s²)

β = Coeficiente de expansión en volumen ($\beta = \frac{1}{T}$)

x = Longitud del cilindro (m)

k_f = Conductividad térmica del fluido (W/m·K)

ν = Viscosidad cinemática (kg/m·s)

Los coeficientes de transferencia de calor locales fueron correlacionados para los siguientes intervalos por la relación a continuación:

Intervalo laminar:

$$Nu_{xf} = \frac{h_x}{k_f} = 0,60 (Gr_x^* Pr_f)^{1/5} \quad (10^5 < Gr_x^* < 10^{11});$$

$$q_w = \text{constante} \quad (3.13)$$

Intervalo turbulento:

$$Nu_{xf} = \frac{h_x}{k_f} = 0,17 (Gr_x^* Pr_f)^{1/4} \quad (2 * 10^{11} < Gr_x^* Pr < 10^{16});$$

$$q_w = \text{constante} \quad (3.14)$$

Es importante observar la variación de h_x con x en los dos regímenes característicos.

Para el intervalo laminar $m = \frac{1}{4}$

$$h_x \sim \frac{1}{x} (x^3)^{1/4} = x^{-1/4} \quad (3.15)$$

Para el régimen turbulento $m = \frac{1}{3}$

$$h_x \sim \frac{1}{x} (x^3)^{1/3} = \text{constante con } x \quad (3.16)$$

Cuando se encuentra convección libre turbulenta, el coeficiente de transferencia de calor local es esencialmente constante con x

CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL HORNO

4.1 INTRODUCCIÓN

El diseño es un proceso creativo y de desarrollo mediante el cual se da forma a un sistema estructural, con el propósito de cubrir una necesidad determinada. En este capítulo se desarrolla la alternativa seleccionada de acuerdo a las pautas y procedimientos sistemáticos mencionados.

Las características del horno dependen de las necesidades del cliente, tales como capacidad de producción del horno, definiendo sus dimensiones y materiales mediante el cálculo térmico. A modo de comprobación se incluye también una simulación termica del sistema.

Debido a que el conjunto no estará sometido a elevadas cargas, sino solamente al peso propio y la carga de los pollos, se decide realizar un diseño geométrico, basado en la experiencia de expertos dedicados a la construcción de equipos similares.

4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL HORNO

Para el diseño de la estructura del horno, se considera que la cámara está formada por elementos de acero inoxidable, para evitar la deformación del material debido al contacto con el calor. Además se utiliza acero inoxidable, porque es el material recomendado para fabricación de hornos alimenticios. Entre las características más importantes del acero inoxidable están su alta resistencia a altas temperaturas, la facilidad que brinda al ser trabajado y su resistencia por unidad de peso.

El calor entregado al horno se da por medio de un quemador de gas mediante la regulación de una valvula o comúnmente llamada “*llave de gas*”, montados en la parte inferior del horno. Este calor es constante en el tiempo.

La estructura del horno está formada de la siguiente manera, una primera capa de acero inoxidable, una segunda capa de aislante de fibra de vidrio y una tercera capa de acero inoxidable. De esta manera se asegura que las pérdidas de calor por paredes y tapa no son significativas.

4.3 DIMENSIONES DEL HORNO Y ESPESOR DEL AISLANTE

El objetivo es encontrar las medias adecuadas para la cámara donde se va a realizar la cocción del producto, además de conocer el espesor del aislante adecuado para tener pérdidas por transferencia de calor mínimas.

4.3.1 PARAMETROS Y VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL MODELO MATEMÁTICO EN ESTADO ESTABLE

Para dimensionar el horno, se definen las siguientes características:

- Dimensiones de la cámara de cocción.
- Temperatura del fluido y de los alrededores.
- Temperatura de los gases.
- Temperatura de pared interior del horno.

4.3.1.1 Dimensiones de la cámara cocción

Establecida la capacidad del horno por el usuario se puede determinar el diámetro interno del horno, con una separación y distribución adecuado del producto. Se considera cada pollo como una esfera de diámetro 150 mm y con separación adecuada entre productos se obtiene un diámetro interno del horno de 800 mm.

La separación entre pollos es un valor recomendado obtenido de los hornos horizontales existentes en el mercado. Con este diámetro de la cámara de cocción se tiene buena circulación de los gases calientes, permitiendo la cocción de homogénea del producto. Además existe el espacio necesario para la manipulación de los pollos, ver figura 4.1.

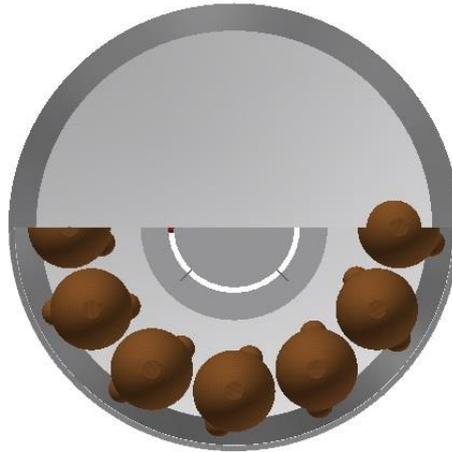


Figura 4.1 Distribución horizontal de los pollos.

Fuente: Propia

La longitud de la cámara de cocción del horno se selecciona en función de la altura a la que puede llegar la llama, considerando la altura adecuada para evitar así que el producto a cocinar se queme. La longitud adecuada será de 1,1 m de longitud.

4.3.1.2 Temperatura del fluido y los alrededores

El horno estará ubicado en la ciudad del Guayaquil con lo cual se asume la temperatura del fluido y los alrededores de 29 °C.

4.3.1.3 Temperatura de los gases y temperatura de pared interior

Se conoce el valor de la temperatura de los gases en el interior del horno, debido a que este valor fue medido experimentalmente. Para facilitar los cálculos se asume

que la temperatura de los gases es la misma temperatura que la pared interior del horno.

En realidad estas dos temperaturas difieren en su valor puesto que existe movimiento de aire en el interior del horno, este movimiento de aire se debe al aumento de temperatura, como consecuencia disminuye su densidad, induciendo un movimiento vertical ascendente de aire caliente y reemplazando por un fluido de ambiental más frío.

4.3.2 CONSIDERACIONES ADICIONALES

El horno se ubicará en un lugar cerrado donde no hay movimiento de aire a gran velocidad, las variación de temperatura entre la pared exterior del horno y la temperatura ambiente no son significativas, por lo cual se selecciona el coeficiente de transferencia de calor por convección de valores típicos de la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección h.

PROCESO	h(W/m *K)
Convección libre	
Gases	2-25
Líquidos	50-1000
Convección forzada	
Gases	25-250
Líquidos	50-20000
Convección con cambio de fase	
Ebullición o condensación	2500-100000

Fuente INCROPERA, F.; Fundamentos de Transferencia de Calor; 4ta Edición; México; 1996.

4.3.3 CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL HORNO Y DEL ESPESOR DEL AISLANTE A UTILIZAR

Para determinar el espesor del aislante y las dimensiones del horno se tiene que mantener las condiciones iniciales propuestas, se establece los valores de todos los parámetros que influyen en la ecuación del balance energético en estado estable.

4.3.3.1 Propiedades generales

Todas las propiedades seleccionadas se toman en cuenta a temperatura ambiente.

4.3.3.1.1 Propiedades del aislante ¹⁴

El aislante seleccionado es fibra de vidrio y cumple con las siguientes características:

- Densidad (ρ) = 28 kg/m³
- Conductividad térmica (k) = 0,038 W/m* K

4.3.3.1.2 Propiedades del acero inoxidable ¹⁵

- Densidad (ρ) = 7900 kg/m³
- Conductividad térmica (k) = 14,9 W/m* K
- Emisividad (ε) = 0,8
- Calor específico (C_p) = 477 J/kg* K
- Difusividad térmica (α) = 3,95 *10⁶m²/s

¹⁴ INCROPERA, F.; Fundamentos de Transferencia de Calor; 4ta Edición; México; 1996.

¹⁵ CENGEL, J.; Transferencia de Calor y Masa; 3ra Edición; México; 2007.

4.3.3.1.3 Propiedades de aire interior

- Temperatura del ambiente interior $T_a = 185 \text{ }^\circ\text{C} = 458,15 \text{ K}$ (con este valor se logra la temperatura de superficie exterior en el pollo obtenida en el estudio de campo)

4.3.3.1.4 Propiedades del aire exterior

Las propiedades del aire exterior se determinan en relación a las consideraciones que se han hecho.

- Temperatura ambiente $T_a = 29 \text{ }^\circ\text{C} = 302,15 \text{ K}$
- Temperatura de los alrededores $T_\infty = T_{\text{alr}}$

El coeficiente de transferencia de calor por convección se toma de la tabla 4.1

- $h_e = 22 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Para continuar se definen los calores involucrados en el cilindro y tapa, ver figuras 4.2 y 4.3.

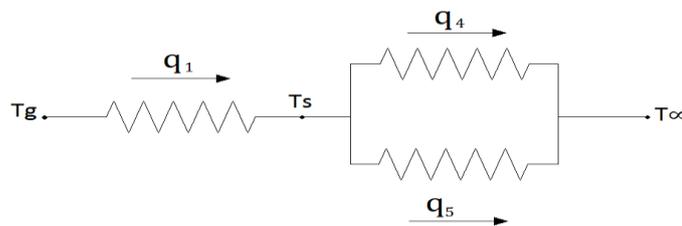


Figura 4.2 Identificación de calores en el análisis de resistencias eléctricas para la tapa.

Fuente: Propia

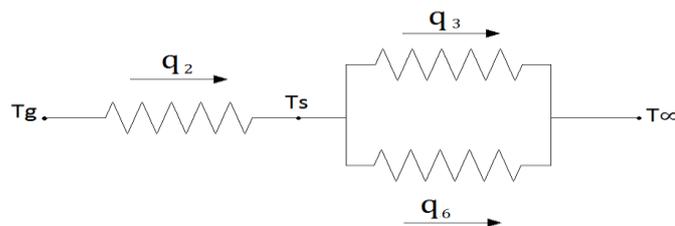


Figura 4.3 Identificación de calores en el análisis de resistencias eléctricas para el cilindro.

Fuente: Propia

4.3.3.2 Cálculo del calor por conducción a través de paredes y la tapa superior

El calor conducido tanto por la pared del horno así como por la tapa se determina mediante las ecuaciones 3.2 y 3.4. Este calor no puede determinarse de manera directa debido a la falta de valores, por tanto se dejan planteadas las ecuaciones.

Flujo de calor para una pared plana:

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad \rightarrow \quad q_1 = \pi r_1^2 k \frac{(T_{s,1} - T_{s,2})}{e} \quad (4.1)$$

$$A_1 = \pi r_1^2$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$\Delta T_1 = T_{s,2} - T_{s,1}$$

$$\Delta x = e$$

El flujo de calor para un sistema cilíndrico es:

$$q = \frac{2\pi Lk\Delta T}{\ln(r_2/r_1)} \quad \rightarrow \quad q_2 = \frac{2\pi Lk(T_{s,1} - T_{s,2})}{\ln\left(\frac{r_1+e}{r_1}\right)} \quad (4.2)$$

$$\Delta T_2 = T_{s,1} - T_{s,2}$$

$$r_2 = r_1 + e$$

Flujo total de conducción por pared y tapa:

$$q_k = q_1 + q_2 \quad \rightarrow \quad q_k = \pi k (T_{s,1} - T_{s,2}) \left[\frac{r_1^2}{e} + \frac{2L}{\ln\left(\frac{r_1+e}{r_1}\right)} \right] \quad (4.3)$$

$$k = 0,038 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$T_{s,1} = 185 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$r_1 = 0,4 \text{ m}$$

$$L = 1,1 \text{ m}$$

4.3.3.3 Cálculo del calor por convección a través de paredes y la tapa superior

El calor perdido tanto por la pared y la tapa se determina mediante la ecuación 3.5.

Flujo de calor para una pared plana:

$$\begin{aligned}
 q &= h_e A (T_s - T_\infty) & \rightarrow q_3 &= \pi r_1^2 h_e (T_{s,2} - T_\infty) & (4.4) \\
 A_3 &= \pi r_1^2 \\
 T_s &= T_{s,2}
 \end{aligned}$$

El flujo de calor para un sistema cilíndrico es:

$$\begin{aligned}
 q &= h_e A (T_s - T_\infty) & \rightarrow q_4 &= 2\pi L (r_1 + e) h_e (T_{s,2} - T_\infty) & (4.5) \\
 A_4 &= 2\pi * r_2 * L \\
 r_2 &= r_1 + e \\
 T_s &= T_{s,2}
 \end{aligned}$$

Flujo total de convección por pared y tapa:

$$\begin{aligned}
 q_c &= q_3 + q_4 & \rightarrow q_c &= \pi h_e (T_{s,2} - T_\infty) [r_1^2 + 2L(r_1 + e)] & (4.6) \\
 h_e &= 22 \frac{W}{m^2 * K} \\
 T_\infty &= 29 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 r_1 &= 0,4 \text{ m} \\
 L &= 1,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.3.3.4 Cálculo del calor por radiación a través de paredes y la tapa superior

El calor conducido tanto por la pared del horno así como por la tapa se determina mediante la ecuación 3.6.

Flujo de calor para una pared plana:

$$\begin{aligned}
 q &= \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_{alr}^4) & \rightarrow q_5 &= \pi r_1^2 \varepsilon \sigma (T_{s,2}^4 - T_{alr}^4) & \quad (4.7) \\
 A_5 &= \pi r_1^2 \\
 T_s &= T_{s,2}
 \end{aligned}$$

El flujo de calor para un sistema cilíndrico es:

$$\begin{aligned}
 q &= \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_{alr}^4) & \rightarrow q_6 &= 2\pi L (r_1 + e) \varepsilon \sigma (T_{s,2}^4 - T_{alr}^4) & \quad (4.8) \\
 A_6 &= 2\pi * r_2 * L \\
 r_2 &= r_1 + e \\
 T_s &= T_{s,2}
 \end{aligned}$$

Flujo total de radiación por pared y tapa:

$$\begin{aligned}
 q_r &= q_5 + q_6 & \rightarrow q_r &= \pi \varepsilon \sigma (T_{s,2}^4 - T_{alr}^4) [r_1^2 + 2L(r_1 + e)] & \quad (4.9) \\
 \varepsilon &= 0,8 \\
 \sigma &= 5,670 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4} \\
 T_{alr} &= 302,15 K \\
 r_1 &= 0,4 m \\
 L &= 1,1 m
 \end{aligned}$$

4.3.3.5 Balance energético en estado estable

De forma general, el requerimiento de la conservación de la energía para el estado estable es:

$$\dot{E}_e = \dot{E}_s$$

La ecuación 3.1 define lo siguiente:

$$q_k = q_c + q_r$$

La ecuación 3.1 modificada se la puede representar de acuerdo a la conservación de energía, entonces:

$$q_{en.aisl} = q_k = q_c + q_r$$

donde: $q_{en.aisl}$ = calor que entra al aislante, considerado por perdidas.

Se obtienen las ecuaciones siguientes.

$$q_{en.aisl} = q_k \quad (4.10)$$

$$q_k = \pi k (T_{s,1} - T_{s,2}) \left[\frac{r_1^2}{e} + \frac{2L}{\ln\left(\frac{r_1+e}{r_1}\right)} \right]$$

$$\rightarrow q_{en.aisl} = \pi k (T_{s,1} - T_{s,2}) \left[\frac{r_1^2}{e} + \frac{2L}{\ln\left(\frac{r_1+e}{r_1}\right)} \right]$$

$$k = 0,038 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$T_{s,1} = 458 K$$

$$r_1 = 0,4 m$$

$$L = 1,1 m$$

$$q_{en.aisl} = q_c + q_r \quad (4.11)$$

$$q_c = \pi h_e (T_{s,2} - T_{\infty}) [r_1^2 + 2L(r_1 + e)]$$

$$q_r = \pi \varepsilon \sigma (T_{s,2}^4 - T_{alr}^4) [r_1^2 + 2L(r_1 + e)]$$

$$\rightarrow q_{en.aisl} = \pi [h_e (T_{s,2} - T_{\infty}) + \varepsilon \sigma (T_{s,2}^4 - T_{alr}^4)] [r_1^2 + 2L(r_1 + e)]$$

$$h_e = 22 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \varepsilon = 0,8$$

$$T_{\infty} = 302,15 K \quad \sigma = 5,670 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

$$T_{alr} = 302,15 K \quad r_1 = 0,4 m$$

$$L = 1,1 m$$

Considerando que un quemador para la aplicación del proyecto entrega el 100% del calor generado por la combustión, en la práctica este valor no es aprovechado totalmente.

Para la combustión se considera una gama de quemadores para cocinas industriales y disponibles en el mercado nacional. Proporcionado por distribuidores de estos quemadores se tiene un aproximado de la potencia entregada.

De acuerdo a la experiencia de personal que trabajan con hornos para alimentos se consideran el siguiente criterio de pérdidas, ver figura 4.4.

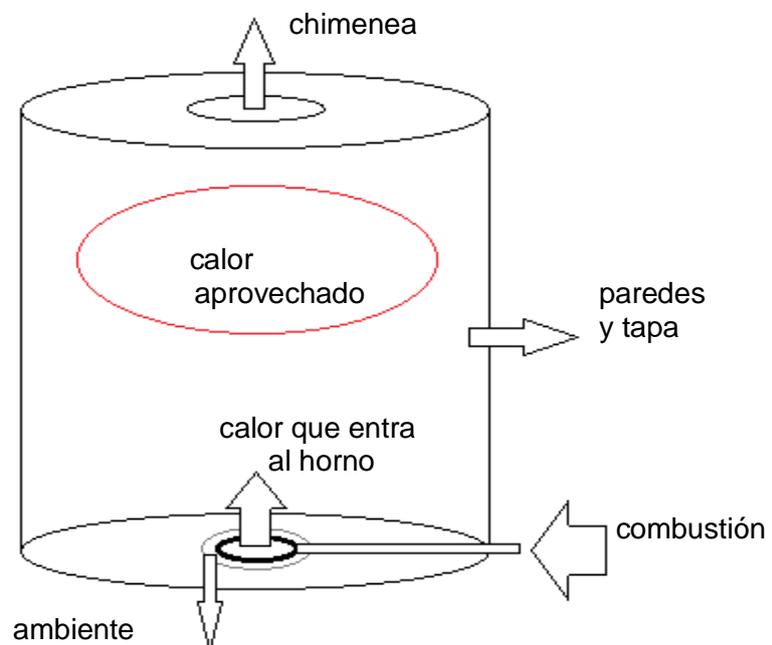


Figura 4.4 Identificación de calores por pérdidas

$$q_{\text{combustión}} = 15000 \text{ W}$$

$$q_{\text{entra al horno}} = 90\% q_{\text{combustión}} = 13500 \text{ W}$$

$$q_{\text{aprovechado}} = 80\% q_{\text{entra al horno}} = 10800 \text{ W}$$

$$q_{\text{pérdidas}} = 20\% q_{\text{entra al horno}} = 2700 \text{ W}$$

$$q_{\text{paredes}} = 44\% q_{\text{pérdidas}} = 1200 \text{ W}$$

Conocido el calor por pérdidas se tiene un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas que son:

- $T_{s,2}$ = temperatura de superficie exterior
- e = espesor del aislante

Para resolver dicho sistema se recurre al cálculo por aproximaciones sucesivas debido a que el reemplazo y despeje de cualquiera de las incógnitas resulta imposible de obtener, por tanto se determinan los valores que satisfagan las igualdades.

$$T_{s,2} = 42,27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$e = 0,015\text{m} = 15\text{mm}$$

4.3.3.6 Resumen de dimensiones

De los cálculos realizados se obtienen las dimensiones generales de la cámara de cocción:

- Diámetro interior = 800 mm
- Altura de la cámara = 1100 mm
- Espesor del aislante = 15 mm

4.4 TIEMPO DE ESTABILIZACION DEL EQUIPO

Es importante estimar el tiempo en que el equipo llega a estabilizarse. Para el cálculo del tiempo de estabilización, se toman en cuenta las consideraciones establecidas para el estado transitorio.

4.4.1 PARÁMETROS Y VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL MODELO MATEMÁTICO EN ESTADO TRANSITORIO

- Temperatura inicial del pollo
- Temperatura de los alrededores

- Temperatura interna del pollo
- Dimensiones del pollo

4.4.1.1 Temperatura inicial del pollo

La temperatura inicial del pollo es la temperatura a la cual ingresa el pollo al horno para iniciar el proceso de cocción, es igual a 10°C

4.4.1.2 Temperatura de los alrededores

La temperatura de los alrededores es la misma de los gases e igual a 185°C.

4.4.1.2.1 Propiedades del aire a 185°C ¹⁶

$$\rho = 0,7706 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_p = 1,02 \frac{kJ}{kg * K}$$

$$\mu = 25,2 * 10^{-6} \frac{N * s}{m^2}$$

$$v = 32,215 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$\alpha = 46,815 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f = 36,795 * 10^{-3} \frac{W}{m * K}$$

$$Pr = 0,69875$$

¹⁶ www.esi2.us.es/~jfc/Descargas/TC/Coleccion_tablas_graficas_TC.pdf

4.4.1.3 Temperatura interna del pollo

Criterio subjetivo para el preparador de los pollos, exterior tostado e interior a 70°C.

4.4.1.4 Dimensiones del pollo

Se considera la geometría del pollo como una esfera; para la densidad y masa promedio del pollo de 2,4 kg, se utiliza un diámetro de 14 mm.

4.4.1.4.1 Propiedades del pollo

$$\rho = 0,96 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_p = 2,9 \frac{kJ}{kg * K}$$

$$\alpha = 0,13 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_s = 0,476 \frac{W}{m * K}$$

4.4.2 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN INTERNO DEL HORNO

El método más práctico para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección h implica partir de relaciones empíricas de la forma dada por las ecuaciones 3.14, 3.15 y 3.16.

4.4.2.1 Cálculo del flujo de calor constante

En muchos problemas prácticos el flujo de calor de la superficie es constante, bajo estas condiciones los resultados se presentan de acuerdo a la ecuación 3.14.

$$Gr_x^* = Gr_x Nu_x = \frac{g\beta q_w x^4}{k_f v^2}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\beta = \frac{1}{T}; \quad T = 185 \text{ }^\circ\text{C} = 458,15 \text{ K}$$

$$q_w = 10800 \text{ W/m}^2$$

$$x = 1,1 \text{ m}$$

$$k_f = 36,795 * 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

$$v = 32,215 * 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x^* = 8,866 * 10^{12}$$

4.4.2.2 Cálculo número de Nusselt del cilindro

Este parámetro es igual al gradiente de temperatura adimensional en la superficie y proporciona una medida de la transferencia de calor por convección que ocurre en la superficie.

Considerando el número de Grashof y el número de Prandtl

$$Gr_x^* = 8,866 * 10^{12}$$

$$Pr_f = 0,69875$$

$$Gr_x^* Pr_f = 6,195 * 10^{12}$$

$Gr_x^* Pr_f$ esta dentro del intervalo turbulento para un flujo de calor constante, entonces Nusselt se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Nu_{xf} = \frac{hx}{k_f} = 0,17 (Gr_x^* Pr_f)^{\frac{1}{4}} \quad (2 * 10^{11} < Gr_x^* Pr < 10^{16});$$

$$q_w = \text{constante}$$

$$Nu_{xf} = 268,205$$

El valor del coeficiente de transferencia de calor por convección para el horno de acuerdo a las condiciones establecidas es:

$$Nu_{xf} = \frac{hx}{k_f} \quad \rightarrow \quad h = \frac{Nu_{xf} * k_f}{x}$$

$$Nu_{xf} = 268,205$$

$$k_f = 36,795 * 10^{-3} \frac{W}{m * K}$$

$$x = 1,1 \text{ m}$$

$$h = 8,971 \frac{W}{m^2 * K}$$

4.4.3 CÁLCULO DEL NÚMERO DE BIOT

El conocimiento del número de Biot facilita la selección del método más adecuado para la resolución de problemas en conducción transitoria.

$$Bi = \frac{h_s r_0}{k_s}$$

$$h_s = 8,971 \frac{W}{m^2 * K}$$

$$r_0 = 0,075 \text{ m}$$

$$k_s = 0,476 \frac{W}{m * K}$$

$$Bi = 1,413$$

El método adecuado para la resolución del problema en estado transitorio es conducción de calor en esferas con efectos especiales.

4.4.4 BALANCE ENERGÉTICO

La ecuación del balance energético en estado transitorio para la conducción de calor en esferas con efectos especiales queda de la siguiente manera:

$$\theta_{r,esf} = \frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty} = A_1 e^{-\lambda_1^2 \tau} * \frac{\text{seno}\left(\lambda_1 * \frac{r}{r_0}\right)}{\lambda_1 * \frac{r}{r_0}}$$

Por medio de tablas ubicadas en la referencia de la ecuación 3.11 se determina las constantes A_1 y λ_1 en función del Biot encontrado, son:

$$Bi = 1,413$$

$$\lambda_1 = 1,7602$$

$$A_1 = 1,3584$$

La temperatura se determina en el punto $r = 0,025m$, punto donde se requiere que la temperatura interna sea igual a 70°C .

$$\frac{T_t - 185}{10 - 185} = 1,3584 e^{-1,7602^2 \tau} * \frac{\text{seno}\left(1,7602 * \frac{0,025}{0,075}\right)}{1,7602 * \frac{0,025}{0,075}}$$

$$\tau = \frac{0,13 * 10^{-6} t}{0,05^2}$$

$$T_{(t)} = 70^\circ\text{C}$$

$$\tau = 0,2156$$

$$t = 4146,15 \text{ seg} = 69,1 \text{ min}$$

$$t \approx 70 \text{ min}$$

Al resolver la ecuación se determina que el tiempo necesario para obtener la temperatura de 70°C es 70 minutos, y es el tiempo mínimo de permanencia de los

pollos en el horno. Si permanece menos tiempo el punto de cocción de las aves no se completa.

El gráfico 4.1 muestra la curva de temperatura del pollo con respecto al tiempo obtenido en el cálculo realizado.

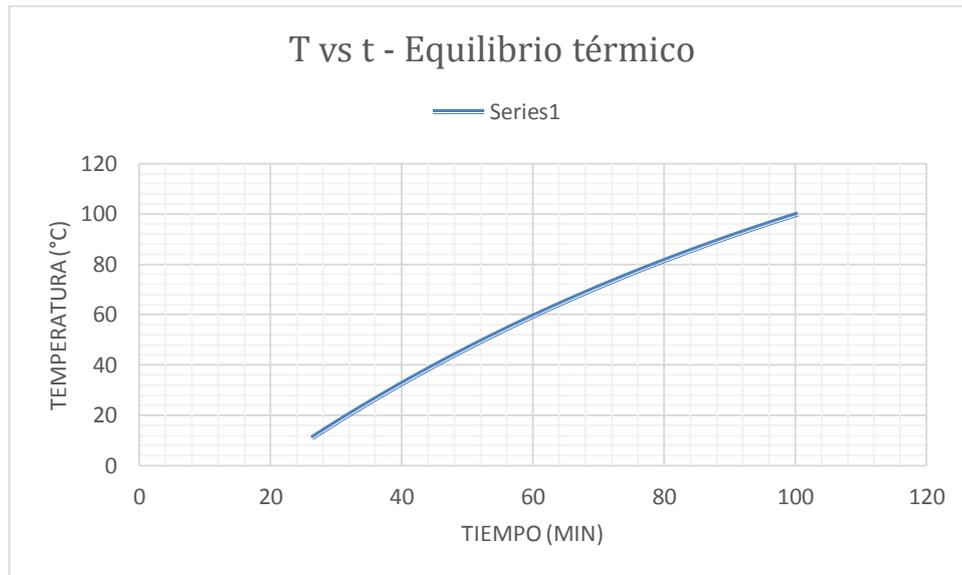


Gráfico 4.1 Temperatura del pollo, en el interior vs tiempo en el punto de cocción

Fuente: Propia

Para conocer la temperatura en la superficie se utiliza la ecuación 3.11, la relación

$\frac{r}{r_0} = 1$, se tiene entonces:

$$\theta_{r,esf} = \frac{T_{(t)} - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = A_1 e^{-\lambda_1^2 \tau} * \frac{\text{seno}(\lambda_1)}{\lambda_1}$$

La temperatura que se tiene en la superficie es 117°C cuando la temperatura interior es de 70°C.

4.4.4.1 Solución para el estado transitorio

El cambio de temperatura interior como temperatura superficial en función del tiempo se indican en los gráficos 4.2 y 4.3.

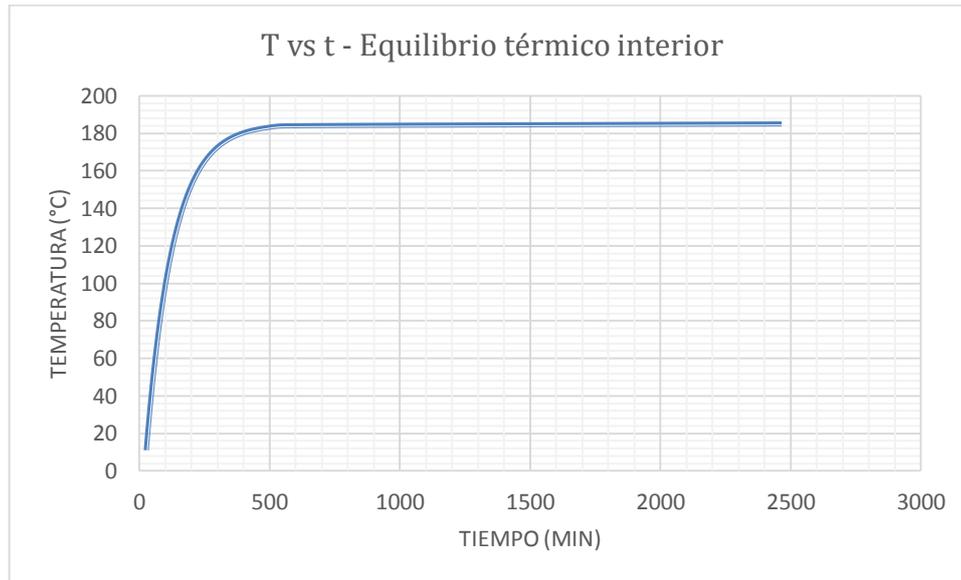


Grafico 4.2 Temperatura del pollo, temperatura interior vs tiempo

Fuente: Propia

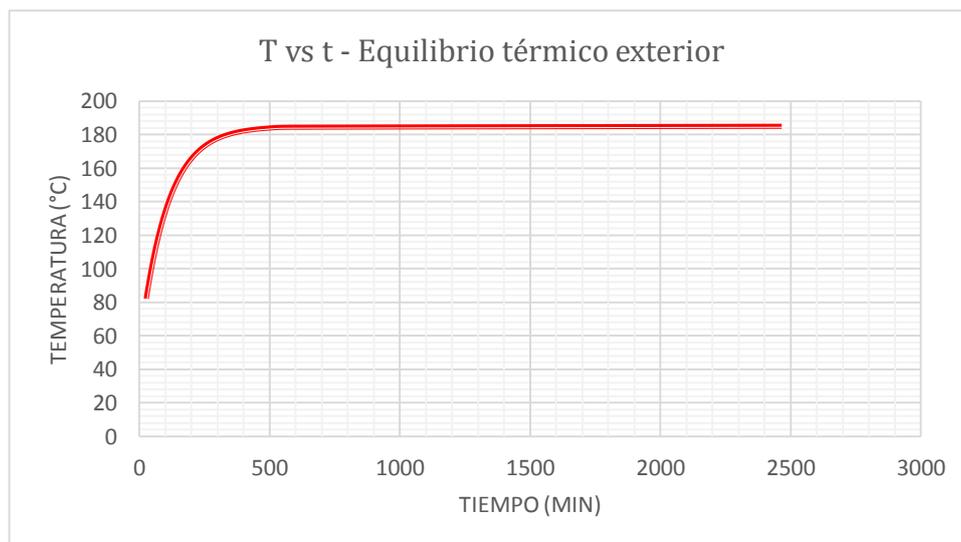


Grafico 4.3 Temperatura del pollo, temperatura superficial vs tiempo

Fuente: Propia

La gráfica 4.4 muestra la comparación de variación la temperatura superficial y la temperatura interna del pollo en función del tiempo para pasar de la temperatura anterior hasta la de estado estable.

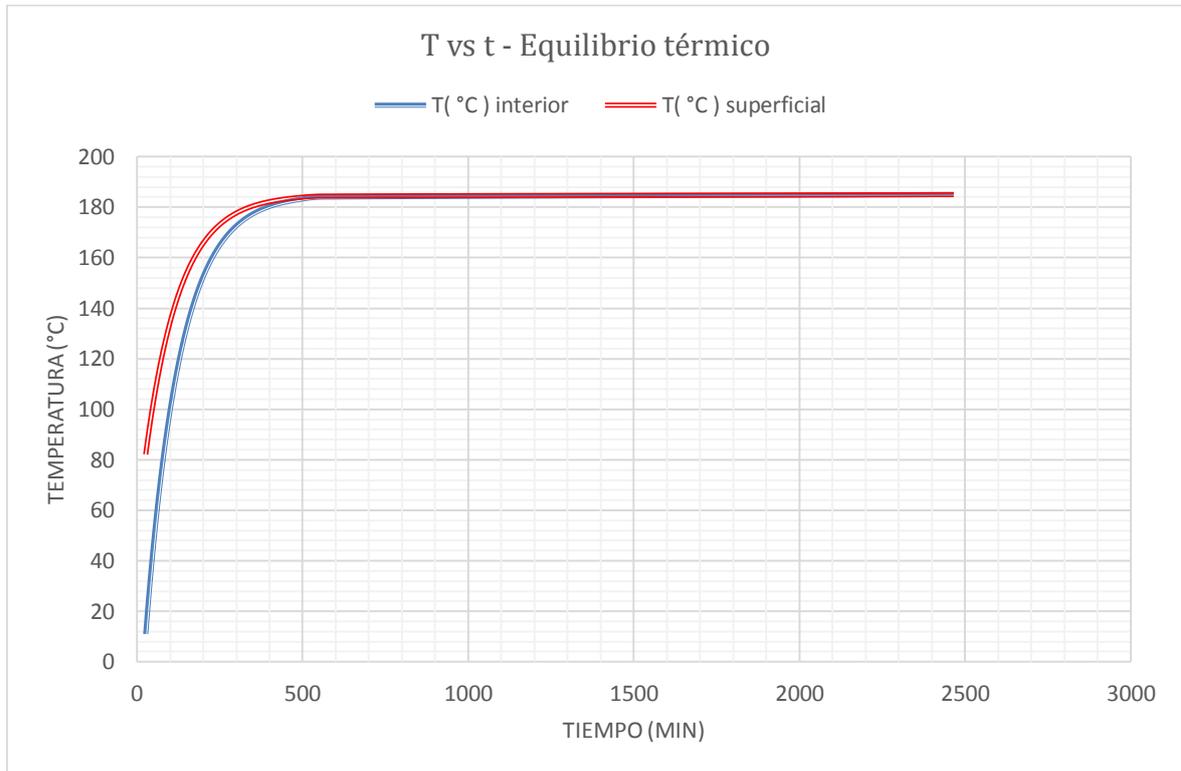


Gráfico 4.4 Temperatura del pollo, comparación temperatura interior y superficial

Fuente: Propia

4.4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS EN ESTADO TRANSITORIO

En el gráfico 4.1 muestra cómo se incrementa la temperatura interior según transcurre el tiempo, al alcanzar la temperatura interior del pollo en el tiempo necesario, el pollo está apto para el consumo. Posterior a 70 minutos el tiempo de permanencia es arbitrario.

En el gráfico 4.4 se muestra se compara el cambio la temperatura interior y superficial en función del tiempo, alrededor de 1000 minutos las temperaturas empiezan a estabilizarse.

En el proceso de cocción de los alimentos no se requiere llegar estrictamente a la temperatura de estabilización debido a que el producto se quema, llegar a la temperatura requerida para la cocción de los alimentos es lo recomendable.

4.5 SIMULACIÓN TÉRMICA

Esta sección consiste en la simulación térmica del sistema, esta simulación permite comparar los valores obtenidos mediante las ecuaciones matemáticas aplicadas.

La simulación permite realizar mediciones para obtener el comportamiento de la temperatura en la superficie del pollo, las paredes y su comportamiento en general.

Se utiliza el *MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS* con ayuda del programa *ANSYS* en modo de *ANÁLISIS DE FLUJO DE FLUIDO* usando *CFX SOLVER*. Esta simulación se muestra en el Anexo 5 y se encuentra en el CD adjunto al proyecto.

Se tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

- Debido a la simetría del horno, se toma en cuenta únicamente la cuarta parte del horno por la facilidad de cálculo en el ordenador.
- Se modela únicamente el aislante, ya que el acero inoxidable permite el paso de aproximadamente el 100% del calor, debido a su alta conductividad térmica.
- Se ingresan los parámetros definidos y propiedades de los materiales,
- Se realiza un mallado de tal forma que se llegue a la convergencia de la solución.
- Se define lo siguiente: *“Si se alcanza el tiempo de equilibrio térmico en los pollos, entonces los parámetros calculados son correctos”*.

La figura 4.5 muestra un ejemplo del mallado de la cuarta parte del horno a simular.

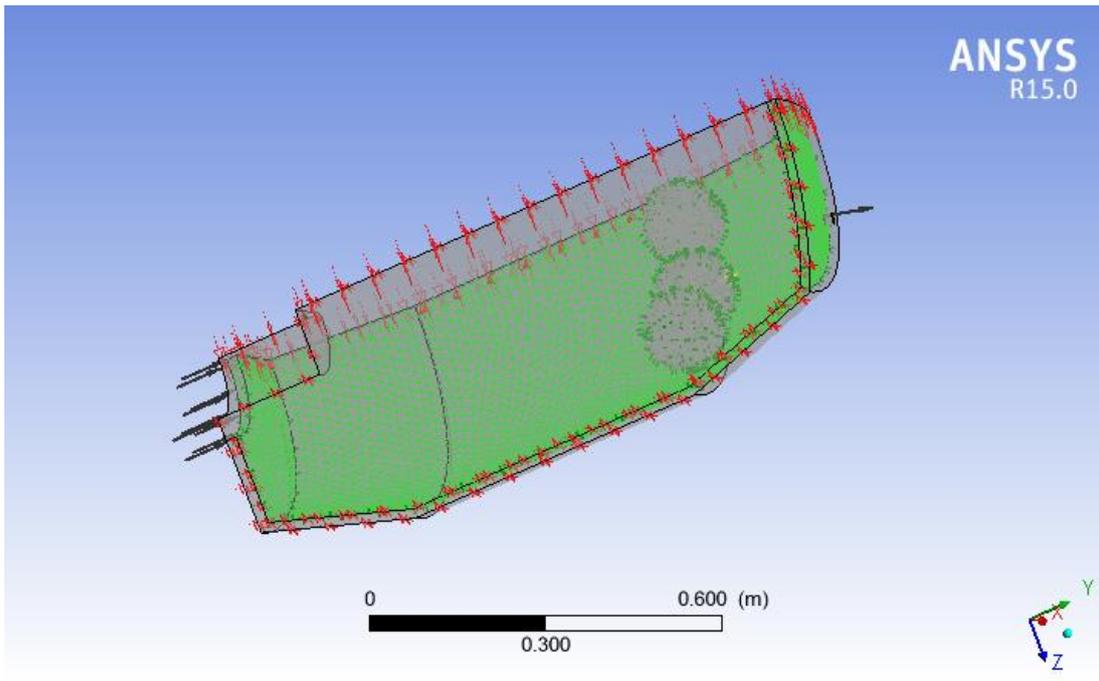


Figura 4.5 Mallado en la superficie del aislamiento.

Fuente: Propia

4.5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE TEMPERATURAS EN LA SUPERFICIE DEL POLLO

El entorno de ANSYS permite establecer varios tipos de análisis, pero como se mencionó anteriormente, el análisis se realizara en el pollo.

Analizando cuadro de resultados se observa que al realizar la simulación se obtiene temperaturas superficiales del pollo que estas alrededor de 140°C en un tiempo de simulación de 60 min, con lo cual si aumentamos el tiempo de simulación se puede llegar a las temperaturas obtenidas de manera teórica.

Existen zonas más calientes que otras en la superficie del pollo, debido a la distribución del calor en el interior del horno, en las partes donde se concentra mayor calor en el horno produce un calentamiento superior en el pollo, ver figura 4.6.

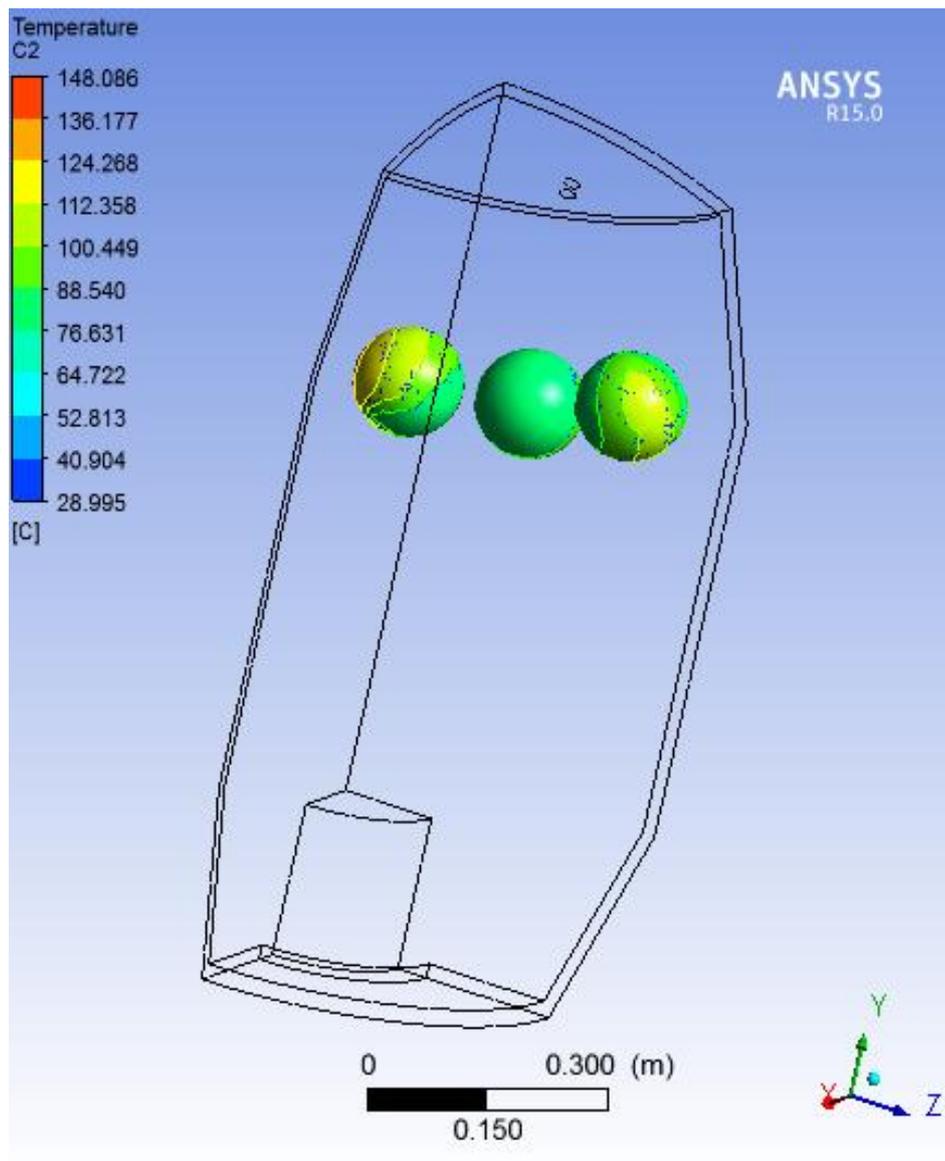


Figura 4.6 Temperaturas en la superficie del pollo.

Fuente: Propia

En la figura 4.7 se observa que el mayor calentamiento se produce en la parte cercana a las paredes como también en la parte superior de los pollos, esto se debe a que hay mayor concentración de calor en aquellas partes causado por geometría del horno, el calentamiento alrededor de todo el pollo es homogéneo de manera general.

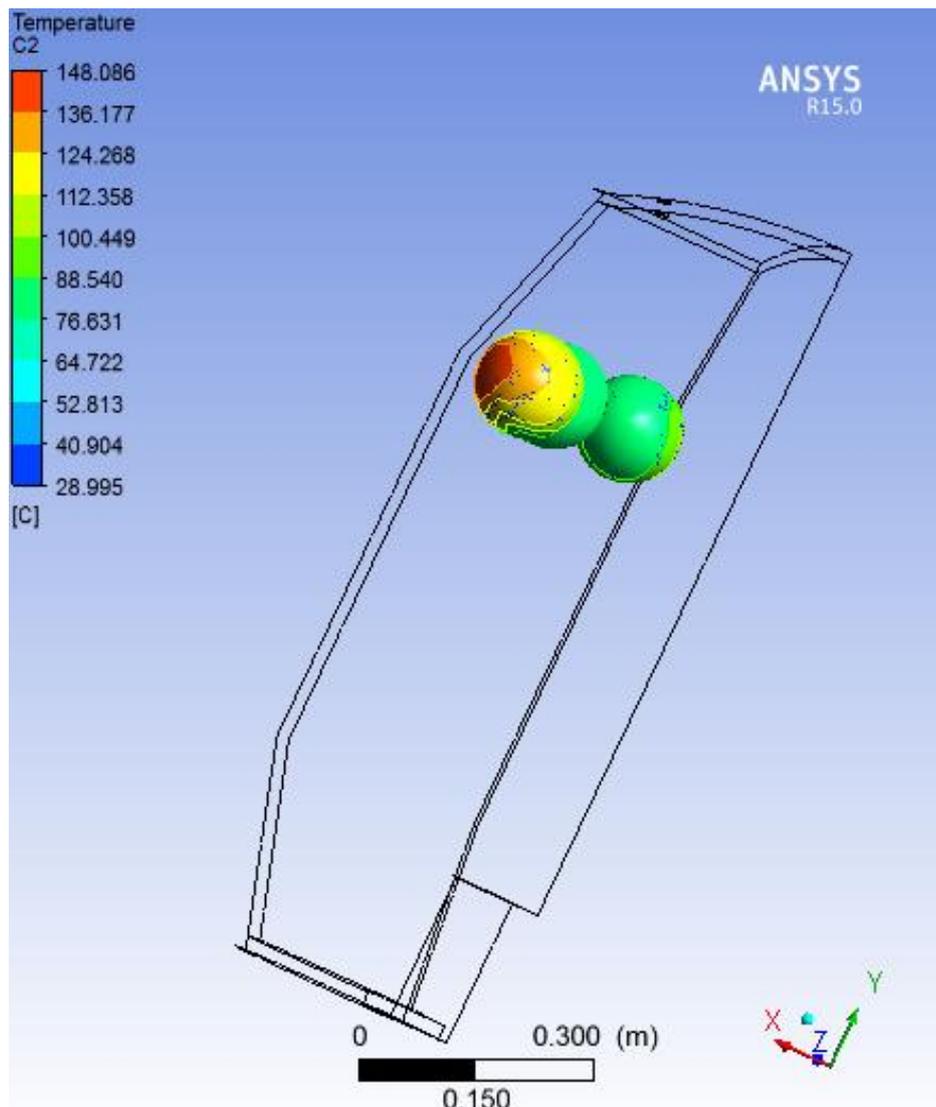


Figura 4.7 Comportamiento de la superficie del pollo junto a la pared.

Fuente: Propia

4.5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE TEMPERATURAS EN ANSYS EN LA SUPERFICIE DEL AISLANTE

Las temperaturas en la parte exterior del aislante está en promedio en los 40°C, confirmando de esta manera que la selección del aislante es el más adecuado y evitar la radiación excesiva al personal que se encuentra en contacto con el horno, ver figura 4.8.

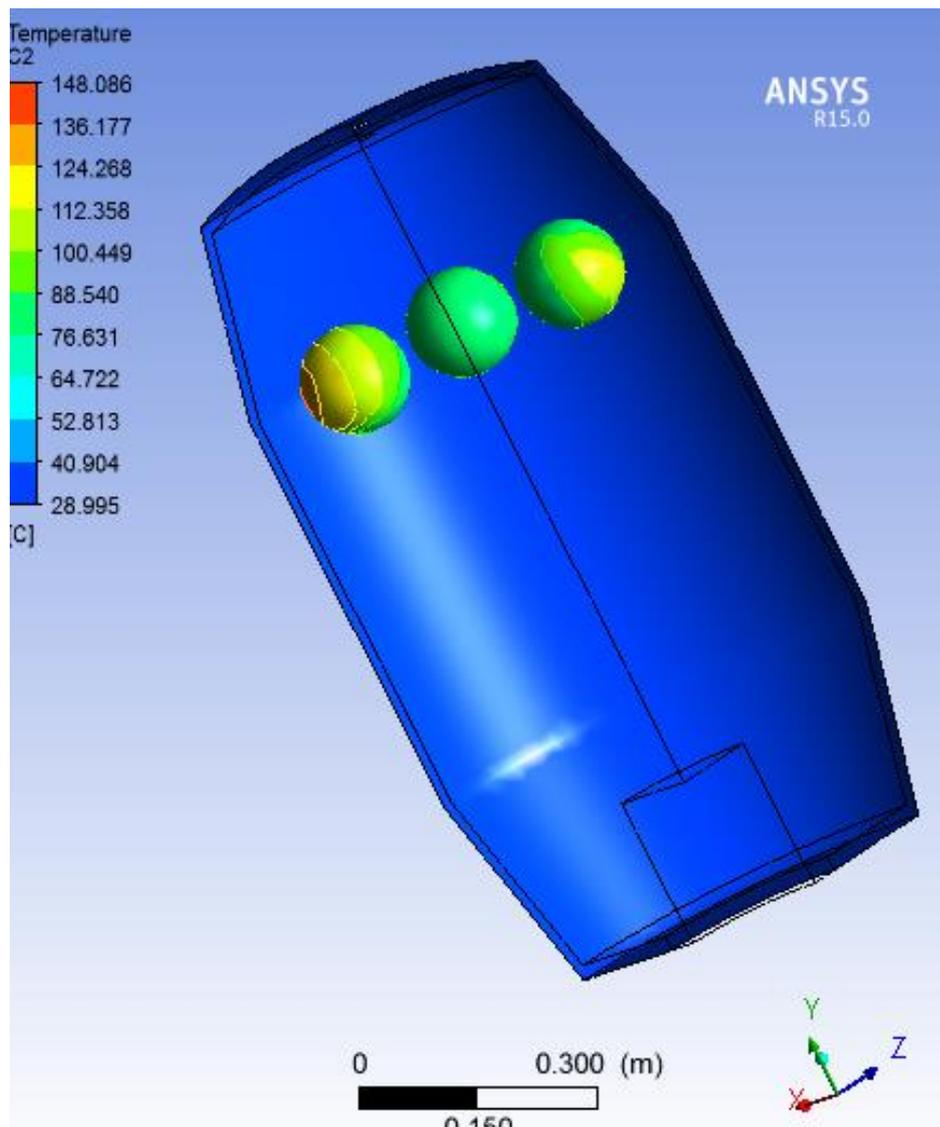


Figura 4.8 Comportamiento del aislante de acuerdo a la temperatura.

Fuente: Propia

Esta temperatura en la pared produce un ambiente confortable de trabajo, ya que es una temperatura moderada la cual, la persona puede soportar de manera regular.

En la parte superior se produce un aumento de temperatura, debido a la concentración de los gases que posteriormente serán expulsados por la pequeña abertura que existe en la parte superior.

4.6 DISEÑO GEOMÉTRICO

En esta sección se determinan todas, piezas involucradas para una completa construcción del horno con las dimensiones calculadas en secciones anteriores.

4.6.1 IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES

Se definen las partes que contiene el sistema, agrupándolas de una manera práctica de tal forma que la construcción de elementos no normalizados, selección de componentes adicionales y montaje sea sencilla.

4.6.1.1 Cámara de cocción

La cámara de cocción es la parte del sistema que se encuentra a las condiciones apropiadas para un eficiente asado del pollo. Está compuesta por los subconjuntos siguientes. Presenta las características siguientes.

4.6.1.1.1 Paredes

- Están compuestas por una parte cónica superior, una cilíndrica intermedia y una cónica inferior opuesta a la primera.
- Esta particular forma que tiene el horno permite obtener al flujo interior del aire de cocción de los pollos mezclado con los gases de la combustión antes de salir por la chimenea, ver figura 4.9.
- Cada una de las partes mencionadas consta del aislante seleccionado en el diseño que es *fibra de vidrio*, rodeado por una capa interior y otra exterior de *acero inoxidable A304*, apropiado para alimentos.
- Se incluyen unos elementos separadores entre las capas interior y exterior de *acero inoxidable* con el propósito de rigidizar el conjunto, ver figura 4.10.

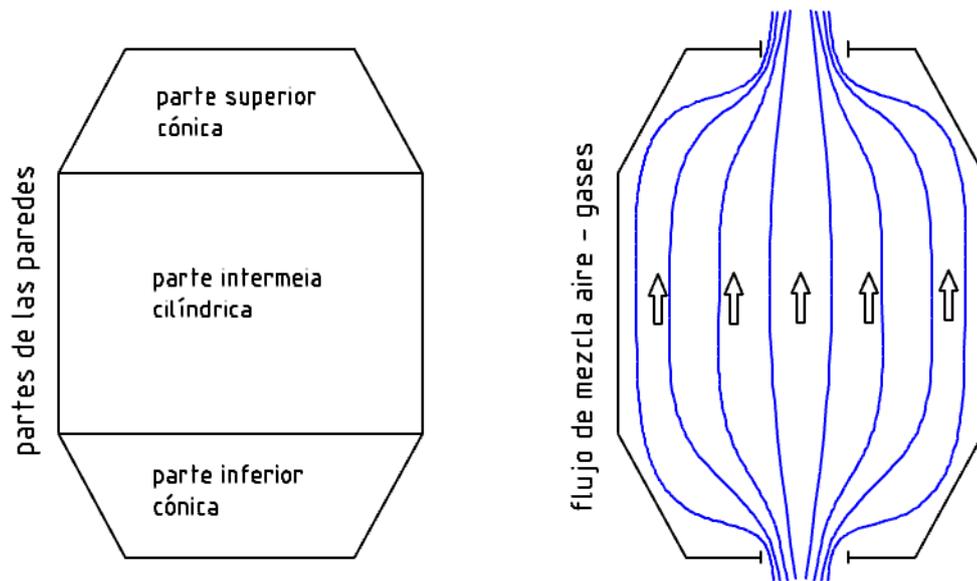


Figura 4.9 Esquema de paredes del horno, flujo de mezcla aire -gases.

Fuente: Propia

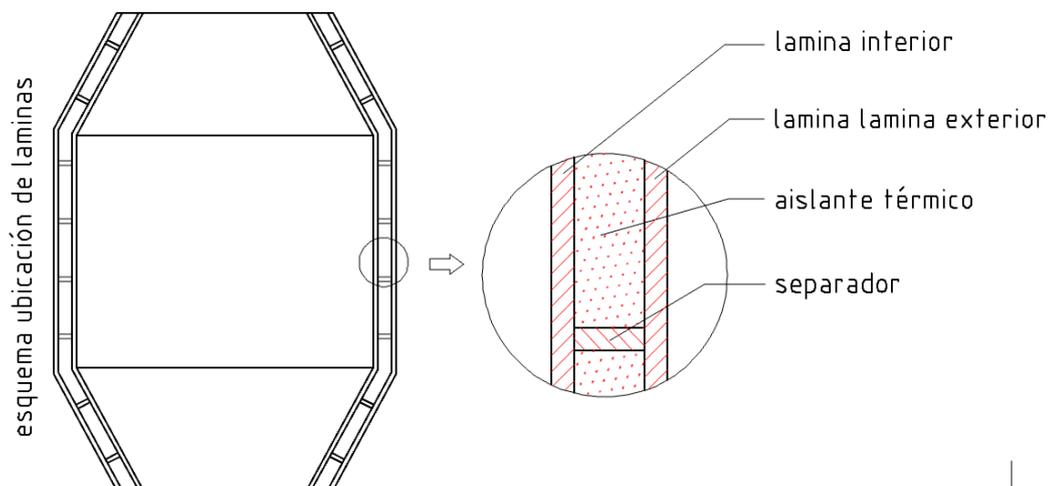


Figura 4.10 Esquema de paredes del horno, componentes.

Fuente: Propia

- Además se incluye una tapa lateral con el propósito de tener acceso al fondo del horno para encender la llama y para solucionar cualquier inconveniente relacionado con la grasa acumulada.
- La tapa está compuesta por aislante térmico rodeado de acero inoxidable.

- Se incluyen también un termómetro para hornos y dos manijas sencillas para trasladar al horno, ver figura 4.11.

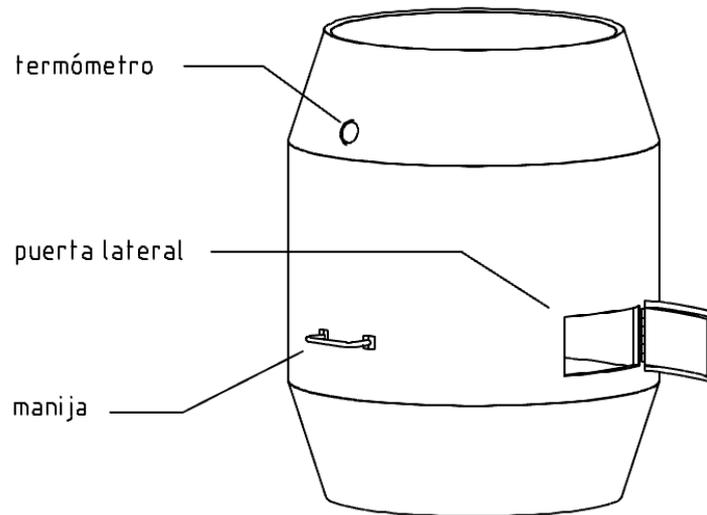


Figura 4.11 Esquema de paredes del horno, accesorios.

Fuente: Propia

4.6.1.1.2 Tapa

- Presenta una forma rebordeada para facilitar el flujo interior de la mezcla aire – gases.
- Similar a las paredes consta del aislante térmico de *fibra de vidrio* rodeado en el interior y exterior por *acero inoxidable A304*.
- Se incluye además elementos para rigidizar el conjunto, ver figura 4.12.
- Se incluye una pequeña tapa secundaria con el propósito de regular la salida de la mezcla aire – gases, es decir funciona como chimenea.
- Se ubica a un lado del eje central para que la recirculación de la mezcla se efectúe por más tiempo dentro del horno, ya que si se la coloca en el centro de la tapa, dicha mezcla tiende a salir más rápidamente.
- Se coloca también una manija para retirar la tapa con facilidad, ver figura 4.13.

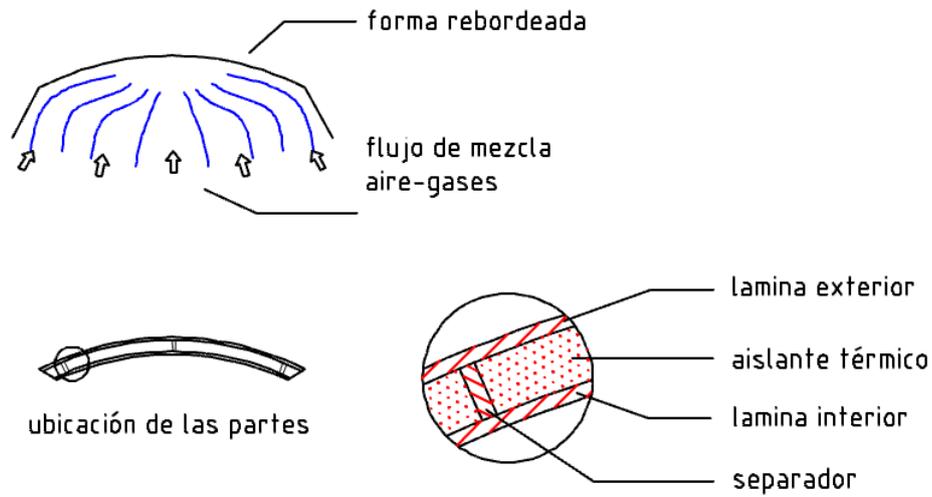


Figura 4.12 Esquema de tapa del horno, componentes.

Fuente: Propia

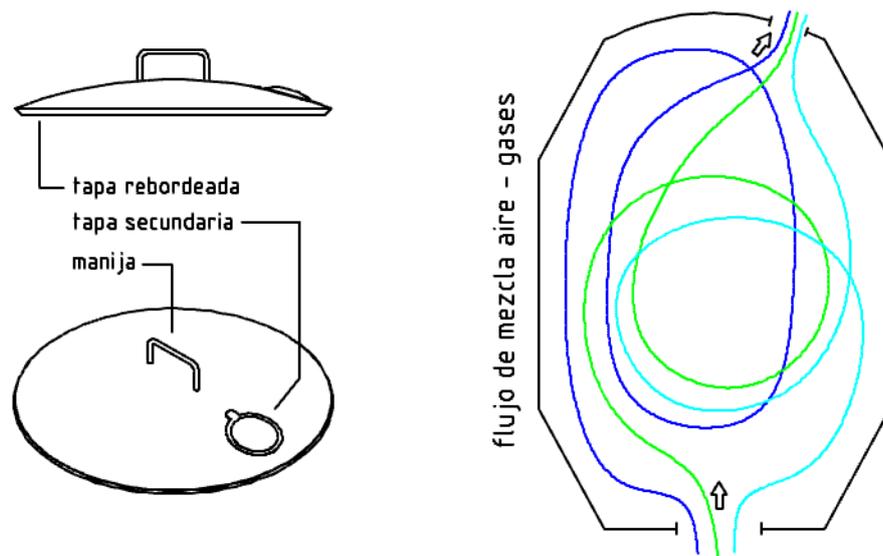


Figura 4.13 Esquema de tapa del horno, flujo de mezcla aire-gases.

Fuente: Propia

4.6.1.1.3 Base

- Presenta una forma plana circular con un agujero central para el ingreso del calor mediante la combustión del gas GLP, además del aire de convección.

- Similar a las paredes y tapa, consta del aislante térmico de *fibra de vidrio* limitado en la parte superior por una capa de *acero inoxidable A304* y en la parte inferior por una capa de *acero A36* más robusta, ya que está en contacto con los apoyos del horno, además de los respectivos separadores, ver figura 4.14.
- En la parte central se coloca el conjunto de confinamiento de la llama, con el propósito de limitar su altura y evitar que los pollos resulten quemados en la superficie.

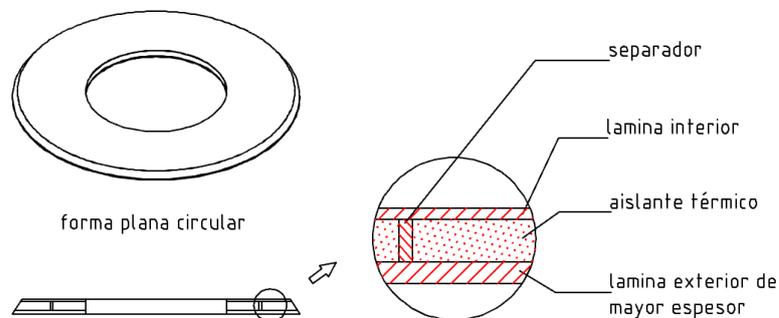


Figura 4.14 Esquema base del horno, componentes.

Fuente: Propia

- Este conjunto consta de una placa circular plana de *Acero A36*, ubicada sobre una placa cilíndrica de *acero A36*, agujerada para el paso de los gases de combustión.
- Se adicionan unas pequeñas placas para ensamblar este conjunto con la base de aislante, de tal forma que se permita el paso del aire de convección desde la parte inferior, ver figura 4.15.
- La grasa cae libremente al fondo del horno durante la cocción y para evacuarla se adiciona un agujero a un lado de la base seguido de una válvula sencilla. Ver figura 4.16.

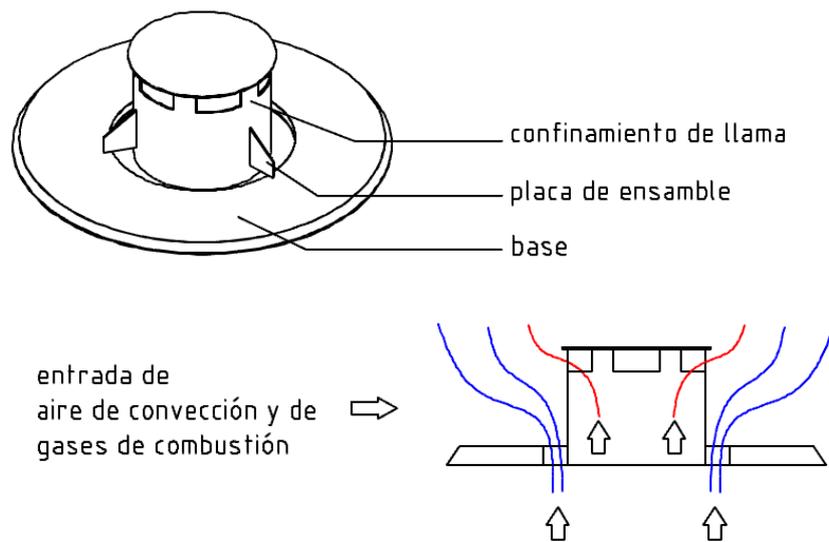


Figura 4.15 Esquema base, confinamiento de llama y paso de gases y aire.

Fuente: Propia

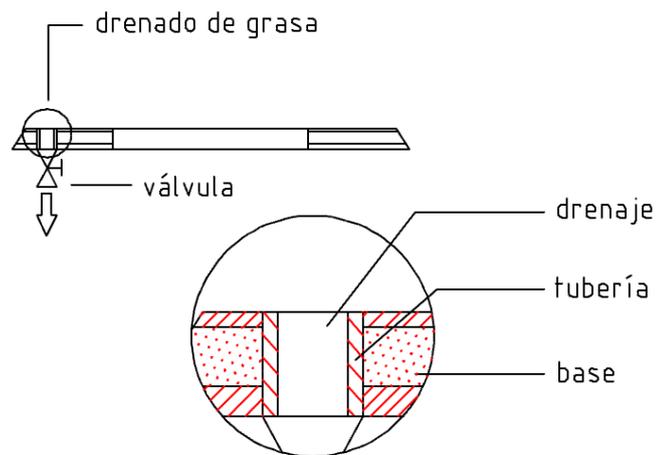


Figura 4.16 Esquema base, drenado de grasa del fondo.

Fuente: Propia

4.6.1.2 Conjunto quemador y regulación de combustible

Este conjunto define los elementos que permiten el paso del gas hasta su combustión. Presenta las siguientes características.

- Como el tanque de gas generalmente cuenta con su respectiva válvula y manguera, a continuación de ésta se necesitan los siguientes elementos:
 - o Tubo de entrada de gas.
 - o Válvula de regulación, comúnmente llamada “llave de gas” con su respectiva perilla
 - o Tubo a la salida de válvula y entrada al quemador
 - o Quemador de cocina industrial.
- Estos elementos se ubican en la parte inferior de la base de la cámara de cocción y se encuentran distribuidos como indica la figura 4.17.

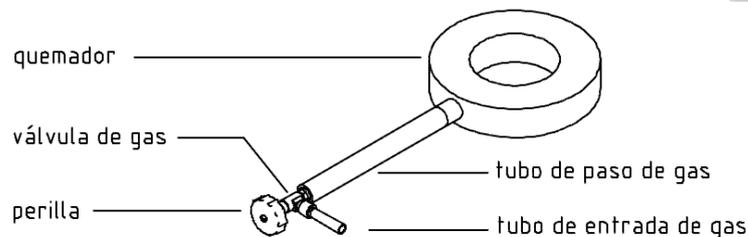


figura 4.17 Esquema conjunto quemador y regulación de combustible.

Fuente: Propia

- Expertos fabricantes de hornos ubican a la tubería a continuación de la válvula de tal forma que se permita el ingreso del aire para obtener la mezcla gas – aire, sin necesidad de que estén acoplados, ver figura 4.18.

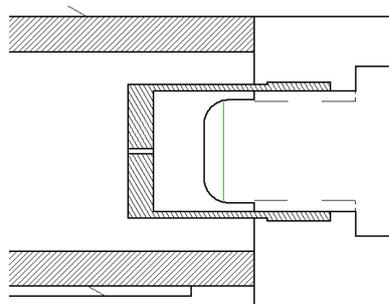


Figura 4.18 Ubicación del válvula reguladora de gas.

Fuente: Propia

4.6.1.3 Apoyos

Son las partes del horno en donde se apoya la cámara de cocción, separándola del suelo. El número de patas depende del peso que pueda soportar cada una, por lo tanto depende de su rigidez. Estarán ubicadas de tal forma que permitan la manipulación del horno desde la parte inferior, es decir mantenimiento.

4.6.2 MODELADO

Se modela cada elemento y se realiza el ensamble de los subconjuntos y montaje general asistido por el programa *AUTODESK INVENTOR*. Este modelo se encuentra en el CD adjunto al proyecto.

Las características del sistemas son:

4.6.2.1 Cámara de cocción

- Se utiliza láminas de acero inoxidable de espesor $e = 0,6$ mm el cual da la conjunto la rigidez suficiente.
- Se utiliza aislante térmico de fibra de vidrio ubicado en un espesor de 15 mm entre las láminas interior y exterior.
- Al ser el aislante un material flexible, se utilizan unos separadores con la forma que muestra la figura 4.19, aprovechando el material restante del corte de las láminas de acero inoxidable.

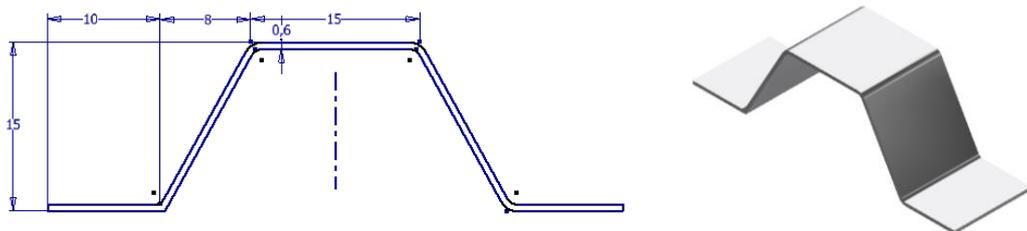


Figura 4.19 Separadores

Fuente: Propia

- La tapa lateral pivota sobre una bisagra simple y cuenta con elementos conformados para cerrarla durante el proceso de cocción.
- La chimenea pivota sobre un remache y gran parte de la calidad del asado de los pollos depende de la apertura de la misma, ver figura 4.20
- La lamina exterior de la base del horno, así como los elementos que forman el confinamiento de la llama son de acero A36 espesor $e = 3$ mm, ver figura 4.21.
- Se incluye una varilla de acero inoxidable con forma de anillo, donde se ubican los pollos colgados en el interior, ver figura 4.22.

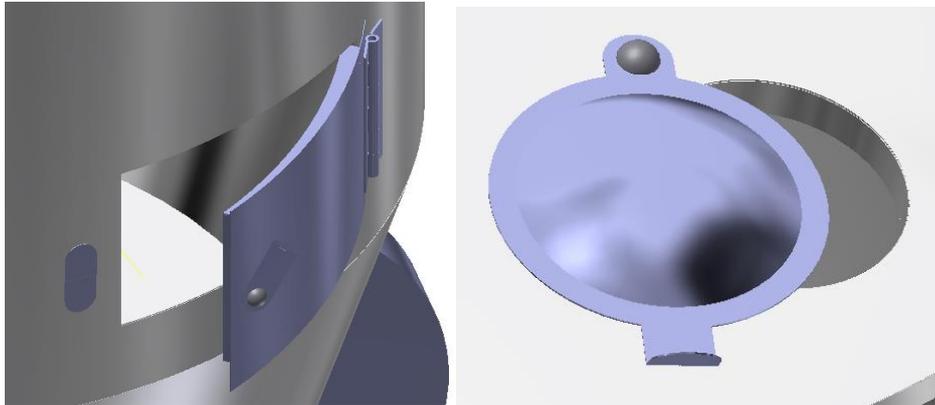


Figura 4.20 Tapa lateral y tapa secundaria (chimenea).

Fuente: Propia

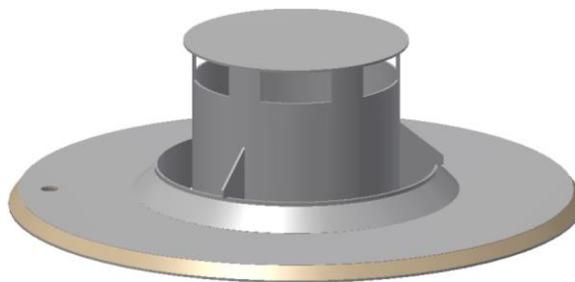


Figura 4.21 Confinamiento de la llama

Fuente: Propia

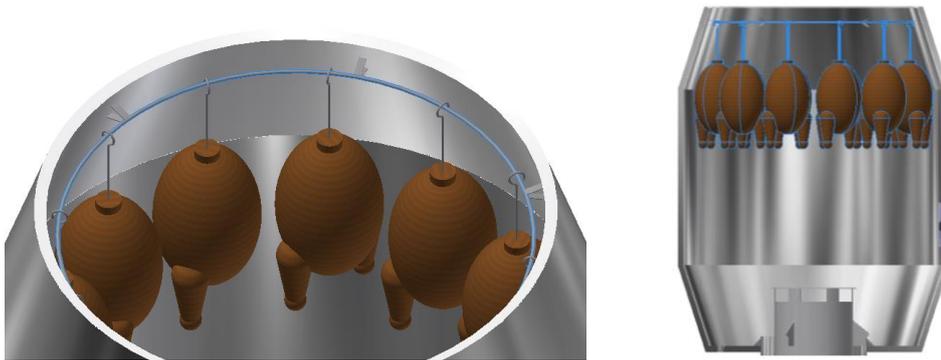


Figura 4.22 Ubicación de los pollos

Fuente: Propia

4.6.2.2 Conjunto quemador – regulación de combustible

- El quemador seleccionado tiene un diámetro de 170 mm, permite la entrada de la energía suficiente para el asado de los 12 pollos, además entrega una distribución de llama uniforme, ver figura 4.23.



Figura 4.23 Quemador

Fuente: CÚÑEZ F., GARCÍA S.; Selección y fabricación en fundición gris de dos tipos de quemadores industriales a gas; Proyecto de Titulación; 2012

- La válvula de gas seleccionada marca "SAMPER" es de tipo industrial con un flujo de gas mucho mayor al de un horno de cocina convencional y es

adecuado para el quemador seleccionado. Cuenta con su respectiva perilla, ver figura 4.24

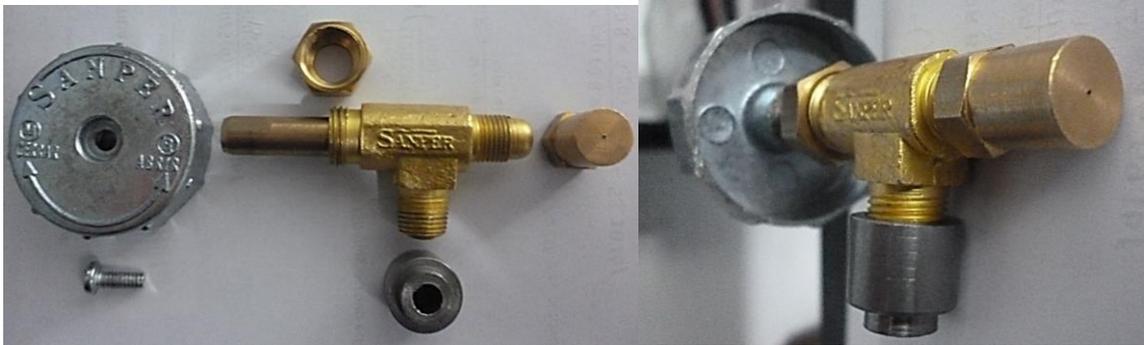


Figura 4.24 Válvula reguladora de gas.

Fuente: Propia

- La tubería junto al quemador se ubica en la base del horno mediante sujetatubos y sus pernos respectivos, por lo que se realizan agujeros roscados en la lámina exterior de la base, ver figura 4.25.

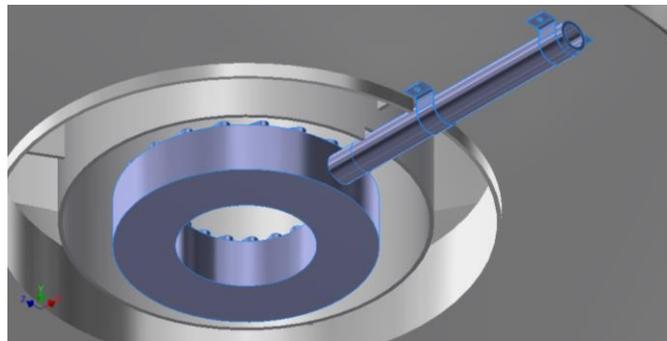


Figura 4.25 Ubicación del quemador y su tubo.

Fuente: Propia

- Se forma un bastidor con placas de acero inoxidable donde se sujeta la válvula reguladora alineada al tubo de paso, mostrando la conexión para el gas mediante el tubo de entrada, ver figura 4.26.

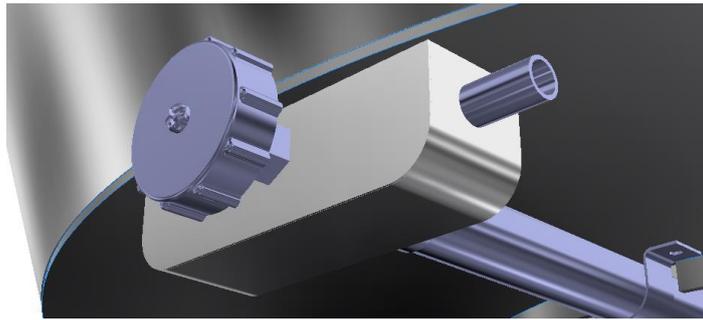


Figura 4.26 Sujeción de la válvula de regulación de gas.

Fuente: Propia

4.6.2.3 Apoyos

- La forma que se da a los apoyos se basa en razones estéticas.
- La base de la cámara de cocción se separan del suelo 250 mm, espacio suficiente para mantenimiento desde la parte inferior del horno.
- Cada apoyo tiene dos placas verticales de acero A36 $e = 3$ mm, unidas por una placa inclinada del mismo material y sobre estas placas se coloca un recubrimiento de láminas de acero inoxidable, ver figura 4.27.



Figura 4.27 Apoyos.

Fuente: Propia

4.6.2.4 Modelo ensamblado

Finalmente se ensamblan los subconjuntos, ver figura 4.28.



Figura 4.28 Modelo del horno completo.

Fuente: Propia

4.7 SIMULACIÓN DEL PROTOTIPO

La simulación de montaje del prototipo diseñado se muestra en el Anexo 6 y se encuentra en el CD adjunto al proyecto.

CAPÍTULO V

ESPECIFICACIONES CONSTRUCTIVAS DEL HORNO

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se mencionan las especificaciones constructivas del horno para el asado de pollos parrilleros y así obtener el horno modelado en la sección anterior.

Se propone una referencia básica para la construcción y los procesos involucrados para obtener un horno con las características del diseño.

5.2 MATERIALES

Una vez definidas las dimensiones de cada parte, se obtiene la cantidad de cada material necesario para lograr la construcción del horno propuesto.

El material más utilizado es la lámina de acero inoxidable A-304 e = 0,6 mm y está involucrado las partes siguientes:

- Paredes cilíndrica y cónicas
- Tapa rebordeada
- Base circular plana
- Tapa lateral
- Chimenea
- Bastidor de la válvula de gas
- Apoyos

Las dimensiones de las láminas de acero disponibles en el mercado son 1220 x 2440 mm. Para obtener el número total de láminas necesarias se requiere del

desarrollo plano de las piezas involucradas y están incluidos en los planos constructivos de las piezas.

De forma similar, las piezas de acero A-36 $e = 3$ mm se obtienen de una plancha de 1220 x 2440 mm. Además se han agregado pocas piezas pequeñas de acero A-304 $e = 0,6$ mm, para las cuales no es necesario una lámina entera, sino un pequeño corte.

Para determinar la cantidad de aislante térmico fibra de vidrio se obtiene con ayuda del programa AUTODESK INVENTOR el volumen total requerido, resulta $0,05$ m³.

A continuación, la tabla 5.1 muestra el resumen de materiales.

Tabla 5.1 Resumen de materiales

No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	SERVICIO
1	Acero inoxidable A-304 $e = 0,6$ mm lamina 1220 x 2440 mm	3	u	Estructura de paredes, tapa, base y apoyos
2	Acero estructural A-36 $e = 3$ mm lamina 1220 x 2440 mm	1	u	Estructura de paredes, tapa, base y apoyos
3	Acero estructural A-36 $e = 01$ mm lamina 200 x 200 mm	1	u	Elementos de ensamble
4	Aislante térmico fibra o lana de vidrio	0,05	m ³	Ahorro de energía térmica
5	Quemador redondo D = 170 mm	1	u	Combustión de gas
6	Tubo de $\frac{1}{2}$ " Cedula 40	190	mm	Paso de mezcla aire - gas

. . . /

Tabla 5.2 Resumen de materiales (continuación)

No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	SERVICIO
7	Válvula reguladora de gas y accesorios	1	u	Regulación del flujo de gas
8	Sujeta-tubos para 1/2" y pernos respectivos	2	u	Sujetar el tubo de 1/2" a la base del horno
9	Tubo de $D_{ext} = 10$ mm	40	mm	Entrada De gas
10	Válvula de bola $D = 1"$	1	u	Drenado de grasa
11	Varilla de acero Inoxidable A-304 $D = 5$ mm	2	m	Enganche De pollos
12	Manijas sencillas Ancho 140 mm	3	u	Traslado del horno y tapa
13	Bisagra $L = 120$ mm	1	u	Abrir y cerrar Tapa lateral
14	Termómetro Para horno $D = 60$ mm	1	u	Sensor de temperatura
15	Pegamento resistente al calor	1	u	Sujeción de la válvula de drenado de grasa.

Fuente: Propia

5.3 PROCESOS MECÁNICOS

Una vez adquiridos los materiales necesarios se requiere definir los procesos mecánicos que se utilizan para la obtención del horno completo

5.3.1 CORTE DE LAMINAS

El acero inoxidable es un material atractivo para la escultura de metal debido a su resistencia superior a la corrosión, flexibilidad y fuerza. Se pueden crear muchas obras de arte interesantes y duraderas cortando formas en chapa de acero inoxidable o placa. Sin embargo, dependiendo del espesor del material que se esté cortando y la complejidad de la forma, es posible utilizar algunas herramientas y técnicas especiales para hacer el trabajo.

El acero inoxidable delgado, de calibre entre 25 y 15 (0,6 y 1,9 mm) se corta fácilmente con un par de *pinzas o tijeras de acción compuesta*, también llamadas *pinzas de aviador o pinzas de hojalata*. Hay muchos tipos de tijeras en el mercado (las que cortan en línea recta o las que cortan curvas hacia la izquierda o la derecha), así que el tipo de corte determina la herramienta a usar. Ciertas pinzas también están diseñadas para calibres más altos, así que asegúrate de elegir un par que se ajusten al grosor de tu material.

Cortar acero de calibre entre 16 a 8 (1,5 a 4,2 mm) es un proceso que puede realizarse con una caladora eléctrica y una cuchilla para corte de metal ¹⁷. También puede utilizarse una *roedora manual* (similar a la *cizalla*), puede realizar cortes rectos y curvos dependiendo del espesor de la lámina ¹⁸.

5.3.2 CONFORMADO DE LAMINAS

Las laminas cortadas tienen las dimensiones del desarrollo. Se requiere una *roladora* para obtener las formas cilíndricas y cónicas de las piezas, mientras que para la tapa se requiere de una *rebordeadora*, ya que presenta una forma curva.

¹⁷ www.ehowenespanol.com/cortar-lamina-acero-inoxidable-como_325626/

¹⁸ www.makitalatinamerica.com/ebook/ebook_mx/data/110/src/110_7.pdf

5.3.3 JUNTAS

Los aceros inoxidable y especialmente los de la serie 300, son perfectamente soldables por el procedimiento TIG. La soldadura puede realizarse con corriente continua y polaridad directa, o con corriente alterna y estabilización de frecuencia. El procedimiento es particularmente indicado para el soldeo de espesores finos.

Cuando se emplea material de aportación, la varilla debe ser algo más rica en cromo que el metal base. En cuanto a riesgos de fisuración, se reducen considerablemente mediante un precalentamiento de las piezas, a una temperatura comprendida entre 145 y 260 C ¹⁹.

Como orientación sobre los parámetros de soldeo, ver el Anexo 7. Se adjunta el procedimiento de soldadura más apropiado en el WPS del Anexo 8.

5.3.4 REMACHADO

Los accesorios que necesitan remacharse son el termómetro, la tapa secundaria y el aditamento para cierre de la tapa lateral; se utilizar una *remachadora manual*. Existe una gran variedad de remaches y tamaños, dependiendo de la aplicación; para los accesorios del horno, remaches sencillos de aluminio son la mejor solución.

5.3.5 ROSCADO

El único proceso de roscado se da en la placa base de acero A-36 e = 3 mm. Los agujeros roscados deben distribuirse de tal forma que se puede colocar los sujetatubos que sostienen al quemador y su tubo respectivo.

¹⁹ GIACHINO J.; Técnica y práctica de la soldadura; Editorial Reverte; 5ª edición, 2007 (google).

5.4 MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS

La tabla 5.2 muestra las herramientas que se utilizan en la construcción del horno.

Tabla 5.2 Resumen de máquinas y herramientas

No.	DESCRIPCIÓN	SERVICIO
1	Pinzas de aviador	Cortes rectos y curvos de lámina $e = 0,6$ mm
2	Roedora eléctrica	Cortes rectos y curvos de lámina $e = 1$ y 3 mm
3	Roladora	Rolado cilíndrico y cónico para cámara de cocción
4	Generador de soldadura TIG con su gas inerte, antorcha, electrodo de tungsteno y material de aporte	Juntas soldadas en acero A-304 y A-36 de bajo espesor
5	Remachadora manual y remaches de aluminio	Juntas remachadas en tapa de chimenea y tapa lateral
6	Roladora	Rolado cilíndrico y cónico para cámara de cocción
7	Taladro	Agujeros para remaches y pernos en la base
8	Roscador manual	Agujeros roscados en la base
9	Flexómetro	Mediciones respectivas
10	Destornillador	Pernos en la base
11	Tijera	Corte del aislante térmico

Fuente: Propia

5.5 GEOMETRÍA

Las dimensiones generales se presentan en la figura 5.1.

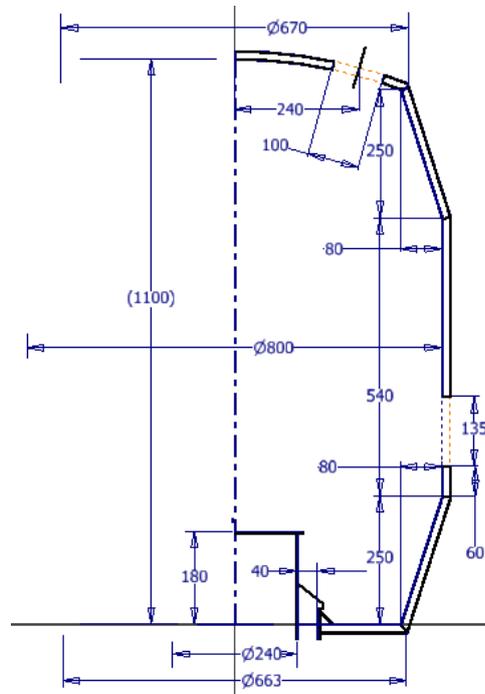


Figura 5.1 Dimensiones generales del horno

Fuente: Propia

Los planos constructivos de piezas, desarrollo y montaje se encuentran detallados en el Anexo 9.

5.6 SECUENCIA DE FABRICACIÓN

Es la sucesión de operaciones de construcción de los elementos y montaje del horno para el asado de pollos parrilleros.

Las Hojas de Procesos muestran el conjunto de acciones y se encuentran detalladas en el Anexo 10.

5.7 PRUEBAS DE CAMPO

Son procedimientos de verificación e inspección del funcionamiento del horno para asado de pollos. Se realizan como base para el control de calidad tanto del producto físico a construir como de su funcionamiento, de esta manera se asegura la confiabilidad del diseño y construcción.

El Protocolo de Pruebas a realizarse se encuentra detallado en el Anexo 11.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE COSTOS

6.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se identifican los valores monetarios del presente proyecto, presentando un desglose de los costos directos e indirectos involucrados para la obtención del *“horno vertical para asado de pollos parrilleros”*

6.2 COSTOS DEL PROYECTO

El costo del proyecto se realiza considerando precios vigentes para el mes de julio del 2014.

Los valores involucrados en el costo del proyecto son:

- Costo de materiales
- Costo de construcción
- Costo de diseño

6.2.1 COSTO DE MATERIALES

La tabla 6.1 detalla los costos de los materiales requeridos para la obtención del horno.

Tabla 6.1 Resumen de materiales

No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO [€]	COSTO TOTAL [€]
1	Acero inoxidable A-304 e = 0,6 mm lamina 1220 x 2440 mm	23	u	64,00	192,00
2	Acero estructural A-36 e = 3 mm lamina 1220 x 2440 mm	1	u	30,00	30,00
3	Acero estructural A-36 e = 1 mm lamina 200 x 200 mm	1	u	1,00	1,00
4	Aislante térmico lana de vidrio	0,05	m ³	15,00	15,00
5	Quegador redondo D = 170 mm	1	u	13,00	13,00
6	Tubo de 1/2" Cedula 40	190	mm	0,60	0,60
7	Válvula reguladora de gas y accesorios	1	u	2,90	2,90
8	Sujeta-tubos para 1/2" y pernos respectivos	2	u	0,50	1,00
9	Tubo de D _{ext} = 10 mm	40	mm	0,30	0,30
10	Válvula de bola D = 1"	1	u	2,00	2,00
11	Varilla de acero Inoxidable A-304 D = 5 mm	2	m	5,00	5,00

. . . /

Tabla 6.2 Resumen de materiales (Continuación)

No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO [\\$]	COSTO TOTAL [\\$]
12	Manijas sencillas Ancho 140 mm	3	u	0,80	2,40
13	Bisagra L = 120 mm	1	u	1,70	1,70
14	Termómetro Para horno D = 60 mm	1	u	5,00	5,00
15	Pegamento resistente al calor	1	u	8,00	8,00
TOTAL POR MATERIALES				\$ 280,00	

Fuente: Propia

6.2.2 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

Los costos de construcción contemplan tanto el costo del alquiler de máquinas, como mano de obra.

El personal requerido para la construcción del horno es:

- Un soldador calificado en soldadura TIG en acero inoxidable
- Un operador de roladora
- Un ayudante

Teniendo en cuenta las horas de trabajo que cada uno de los trabajadores aporta, el costo por hora de alquiler de máquinas es proporcional al costo por hora del personal mencionado. Con esto en mente, se asume que el personal tiene acceso a las maquinas respectivamente, por lo tanto el costo de alquiler de las mismas está incluido en el costo de mano de obra.

Según el ministerio de relaciones laborales, los salarios mínimos sectoriales para el área metalmeccánica son de \$352,89 al mes lo que da un costo por hora de \$2,20.

De forma similar, los salarios para soldadores de este tipo son de \$600 al mes lo que da un costo por hora de \$3,75.

Finalmente, un trabajador con conocimientos en rolado recibe un salario de \$450,00 al mes lo que da un costo por hora de \$2,81.

La tabla 6.2 detalla los costos de mano de obra con disponibilidad de las maquinas respectivas.

Tabla 6.2 Costos por construcción

No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	HORAS DE LABOR	SALARIO POR HORA	COSTO TOTAL [\$]
1	Soldador	1	16	3,75	60,00
2	Rolador	1	8	2,81	22,50
3	Ayudante	1	8	2,20	17,60
TOTAL POR CONSTRUCCIÓN				\$ 100,10	

Fuente: Propia

6.2.3 COSTOS DE DISEÑO

El costo de diseño comprende los gastos durante todo el proceso de concepción y construcción del horno.

El personal capacitado para la obtención del diseño y los documentos correspondientes es:

- Diseñador.
- Dibujante.

La tabla 6.3 muestra los costos mencionados a continuación:

Tabla 6.3 Costos de diseño.

No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	HORAS DE LABOR	SALARIO POR HORA	COSTO TOTAL [\$]
1	Diseñador	1	16	10	160
2	Dibujante	1	30	6	180
TOTAL POR DISEÑO				\$ 340,00	

Fuente: Propia

6.2.4 COSTO TOTAL

Finalmente el costo total del proyecto es el agregado de los rubros detallados en los ítems anteriores. La tabla 6.4 muestra estos valores a continuación.

Tabla 6.4 Costos totales

DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL [\$]	PORCENTAJE [%]
Costo de materiales	280,00	39
Costo de construcción	100,00	14
Costo de diseño	340,00	47
COSTO TOTAL DEL PROYECTO	720,00	100

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Se logra alcanzar el objetivo planteado inicialmente, diseñar un horno vertical para el asado de pollos parrilleros, con el respaldo de la simulación térmica.
- El proceso de combustión y de transferencia de calor con el diseño aplicado permitirá un mayor aprovechamiento de la energía, obteniendo una cocción rápida para las propiedades deseadas en el producto en un tiempo adecuado.
- Con la adecuada selección de los materiales, se permite que el horno sea eficiente y de fácil manipulación, además todos los materiales y elementos mecánicos utilizados en la construcción del horno se obtienen fácilmente en el mercado.
- La facilidad de mantenimiento del equipo lo convierte en un diseño muy versátil, sencillo y de bajo costo, debido a que está formado por elementos de fácil reposición en el mercado nacional.
- La máquina diseñada es de bajo costo con relación a máquinas similares que se importan, además de presentar una ventaja competitiva con respecto a las otras máquinas para asado de pollos parrilleros que existen en el mercado nacional.
- El uso de acero inoxidable indicado para la cocción de alimentos garantiza que el proceso de cocción del alimento sea higiénico, logrando así que el pollo no se contamine.

- Con la simulación en ANSYS se pudo comprobar los valores entregados por el programa y los valores calculados mediante ecuaciones planteadas y la similitud de los mismos.
- La simulación en ANSYS proporciona con mayor aproximación la variación de las temperaturas alrededor de toda la superficie del pollo, mostrando que la superficie se cuece de manera homogénea alrededor de toda la superficie.
- La velocidad del aire en el interior del horno aumenta en relación a la velocidad que entra, esto se debe a que el aire en el interior del horno se vuelve más ligero, es considerable el movimiento del aire en el interior del horno, este movimiento de aire hace que el calor llegue a la parte superior del horno generando el calor necesario para la cocción de los pollos en la parte superior.
- El tiempo mínimo en que los pollos deben permanecer en el horno es de 70 minutos de acuerdo a los cálculos, mientras que en la simulación aquel tiempo de permanencia es menor a ese valor.
- El estudio de campo realizado para obtener las curvas de temperaturas y tiempos durante el asado de pollos inicialmente entrega valores con demasiadas caídas de temperatura, esto se debe a que al momento de abrir el horno para utilizar el termómetro infrarrojo, aire exterior a temperatura ambiente se involucra en el proceso, por lo que las lecturas son más bajas.
- Existen varios métodos para realizar los cortes en una lámina de acero y así obtener las piezas deseadas, el método se selecciona de acuerdo al espesor y a la aleación que se desea cortar; de no ser así es probable que la herramienta resulte averiada y que los cortes requieran una eliminación de bordes adicional, lo que involucra pérdida de material.
- Gran parte de los diseños a los que se dedica el personal capacitado está fundamentado en la experiencia de personas que se dedican a la construcción y manipulación de equipos y procesos similares, esta es una

buena forma de aproximarse a los parámetros reales a los que se quiere llegar y también pueden evitarse estudios técnicos innecesarios.

7.2 RECOMENDACIONES

- El horno en funcionamiento genera gases, por lo cual es adecuado que se encuentre en un sitio con una adecuada ventilación, de no ser así, se debe instalar un extractor de gases el cual debe ubicarse en un lugar donde no obstaculice la circulación de las personas.
- Se debe tener en cuenta que las herramientas de simulación proporcionan una solución aproximada, pero siempre es factible tomar estos resultados como base para la validación final del diseño.
- Es recomendable para el diseño utilizar la información de los materiales que se encuentran en el mercado nacional, debido a que la información que se encuentra en internet, en ocasiones no es correcta en comparación con los materiales que se comercializan en el mercado local.
- Para estudios de campo que requieran medir temperaturas se recomienda el uso de termocuplas conectadas al sistema en cuestión, de esta forma no es requerido abrir la cámara en donde se realiza el proceso y no hay caídas de temperatura.
- El horno está diseñado para que su temperatura exterior sea tolerable para el usuario, pero debido a que en el interior la temperatura es más elevada se deben tener en cuenta las medidas de seguridad necesarias para evitar quemaduras al momento de abrirlo en caliente para extraer el producto.
- Antes de realizar un diseño asistido por software, es necesario adquirir un conocimiento previo acerca del método de elementos finitos, ya que el software entrega solo entrega datos y el diseñador es el responsable de la

interpretación de los mismos; una mala interpretación conlleva un mal diseño y por lo tanto un funcionamiento defectuoso del equipo en cuestión.

- Existen en el mercado gran cantidad de piezas y conjuntos que se construyen sin norma, y la gran mayoría de veces son la mejor opción para reducir costos con un resultado muy cercano a lo óptimo, por tanto hay que tener mucho cuidado al momento de seleccionar estas piezas adquiriendo información previa de los fabricantes, comercializadores o usuarios acerca de su funcionamiento y parámetros involucrados. La mala selección en el caso de combustión de gas GLP podría ser catastrófica.
- En caso de requerir una rápida construcción del horno se recomienda recurrir a una empresa contratista de ingeniería, ya que tienen acceso al personal capacitado, los equipos y herramientas necesarios y de esta forma se evita el alquiler de equipos y del personal dispuesto a trabajar por pocas hora.

BIBLIOGRAFÍA

1. CENGEL, J.; Transferencia de Calor y Masa; 3ra Edición; México; 2007.
2. CHARLEY, H.; Tecnología de los alimentos, procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos; México; Limusa; 1991.
3. CÚÑEZ F., GARCÍA S.; Selección y fabricación en fundición gris de dos tipos de quemadores industriales a gas; Proyecto de Titulación; 2012
4. ESPLUGAS, S; Fundamentos de transmisión de calor; Textos Docentes 305; España, 2005.
5. GIACHINO J.; Técnica y práctica de la soldadura; Editorial Reverte; 5ª edición, 2007 (google).
6. HOLMAN, J.; Transferencia de Calor; 7ma Edición; México; 1990
7. HOLMAN, J.; Transferencia de Calor; 7ma Edición; México; 1990
8. INCROPERA, F.; Fundamentos de Transferencia de Calor; 4ta Edición; México; 1996.
9. VARGAS J.; Fundamentos y Ejercicios de Dibujo Mecánico; 2013
10. WELTY, J.; Fundamentos de Transferencia de Momento, Calor y Masa; 1ra Edición; Oregón; 1963

CITAS DE INTERNET

1. es.wikipedia.org/wiki/Horno#Tipos_de_hornos
2. law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2346.2010.pdf
3. www.archiexpo.es/prod/jendah-food-machinery/hornos-asadores-electrico-50145-467620.html
4. www.ehowenespanol.com/cortar-lamina-acero-inoxidable-como_325626/
5. www.esi2.us.es/~jfc/Descargas/TC/Coleccion_tablas_graficas_TC.pdf
6. www.makitalatinamerica.com/ebook/ebook_mx/data/110/src/110_7.pdf
7. www.revistaelagro.com/2013/09/24/analisis-de-la-avicultura-ecuatoriana/
8. www.rumford.com/oven/oven24sp.html
9. www.telegrafo.com.ec/economia/item/ecuador-produce-200-millones-de-pollos-al-ano.html
10. www.todomercado.com/Comercio/Horno-Asador-de-Pollos-PROGAS.view?id=1358786092533

ANEXOS

ANEXO 1

**Certificado de calibración del termómetro infrarrojo marca "RadioShack",
proporcionado por la empresa SAURUS ECUADOR.**



www.eie-equipment.com.ec

Certificado de Calibración: E&E-INV-14-0788 Fecha de Calibración: 09/04/2014

1. Descripción

Próxima Cal: 09/04/2015

Objeto TERMÓMETRO INFRARROJO

Marca: RADIOSHACK **Rango Temperatura:** (-35 a 365) °C

Modelo o Tipo: ***** **División de escala:** 0,2 °C

Serie: E0042001719

Código: N/A

Solicitante: SAURUS ECUADOR

Dirección: QUITO

2. Condiciones Ambientales

TEMPERATURA: (18 ± 5) °C

HUMEDAD REL.: (45 ± 10) % HR

3. Metodo

Calibración de Termómetros por comparación.

Se utilizó como Patrón un Termómetro, con trazabilidad INEN

4. Resultados

Lectura Promedio Patrón	Lectura Promedio Calibrando	Error	Incert.
°C	°C	°C	°C
0,0	-0,8	-0,8	0,8
20,0	18,0	-2,0	0,8
30,0	25,2	-4,8	0,8
50,0	44,8	-5,2	0,8
68,2	54,6	-13,6	0,8

La incertidumbre se estimó con un nivel de confianza del 95% que corresponde a un factor de cobertura de K=2.

Página 1 de 1



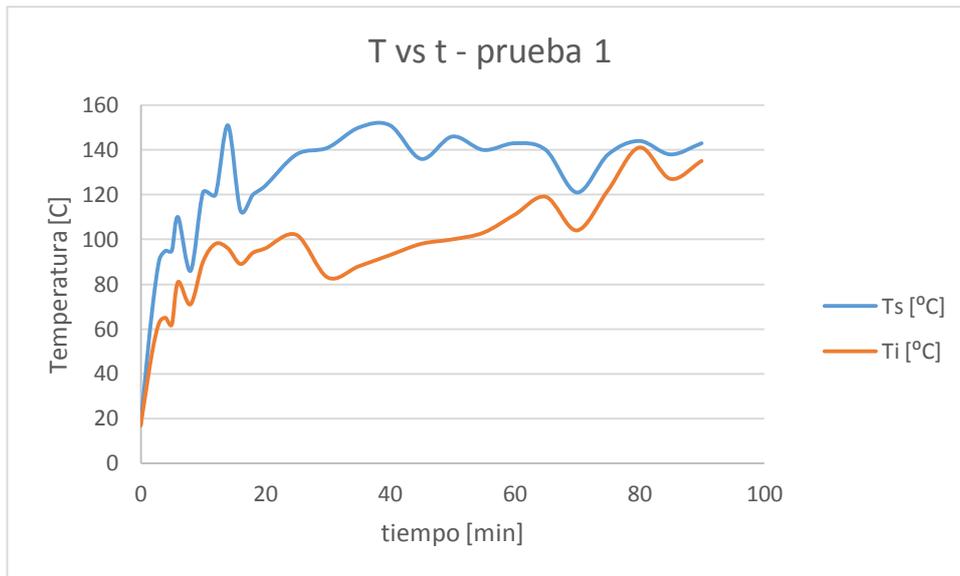
ANEXO 2

Determinación de curvas de T vs t del asado de pollos.

Estudio de campo.

Curvas de temperatura vs. tiempo durante el asado de pollos.

Prueba 1



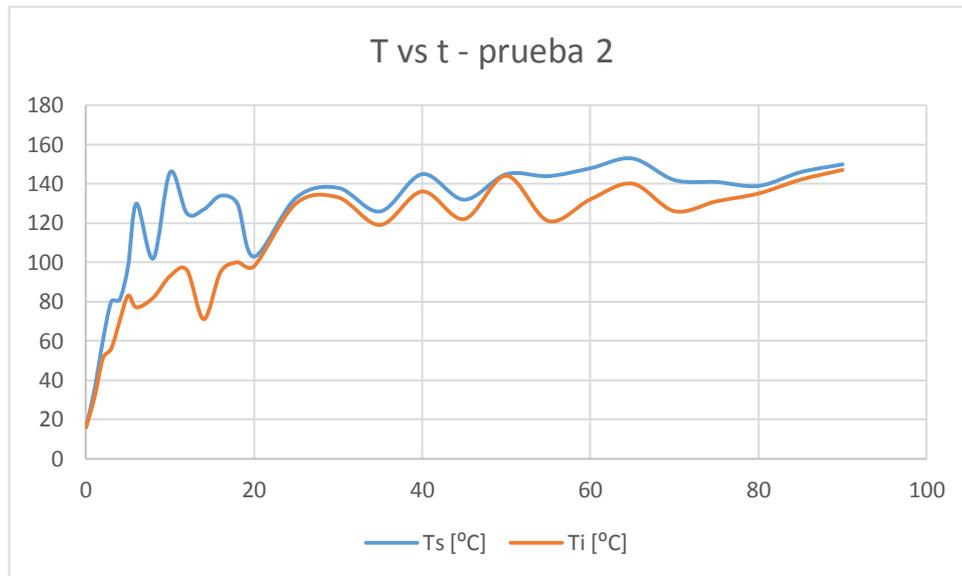
t[min]	Ts [°C]	Ti [°C]
0	17	17
1	46	35
2	72	52
3	91	63
4	95	65
5	95	62
6	110	81
8	86	71
10	121	90
12	120	98
14	151	96
16	113	89
18	120	94
20	124	96

t[min]	Ts [°C]	Ti [°C]
25	138	102
30	141	83
35	150	88
40	151	93
45	136	98
50	146	100
55	140	103
60	143	111
65	140	119
70	121	104
75	138	122
80	144	141
85	138	127
90	143	135

Estudio de campo.

Curvas de temperatura vs. tiempo durante el asado de pollos.

Prueba 2



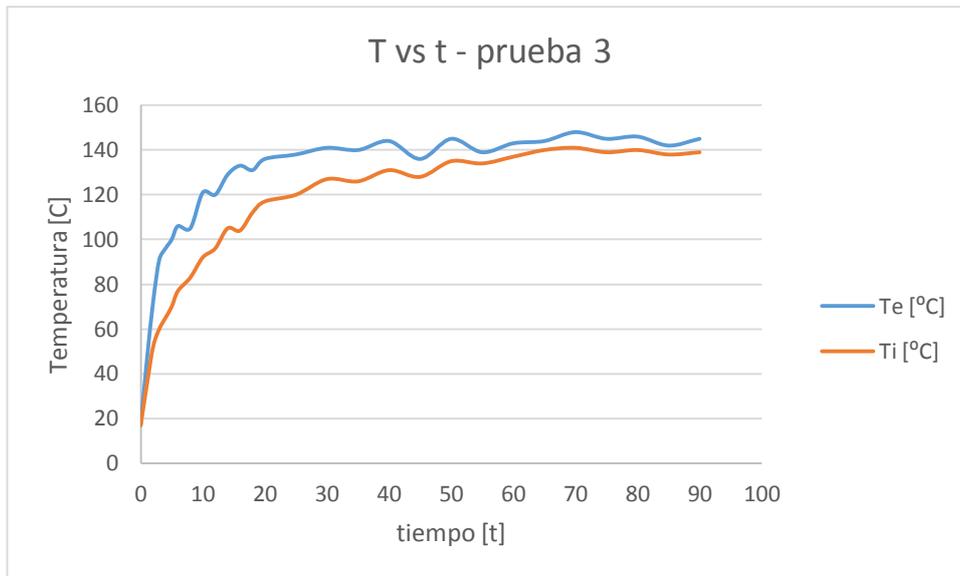
t [min]	Ts [°C]	Ti [°C]
0	16	16
1	35	31
2	60	51
3	80	56
4	81	70
5	98	83
6	130	77
8	102	82
10	146	93
12	125	96
14	127	71
16	134	95
18	130	100
20	103	98

t [min]	Ts [°C]	Ti [°C]
25	133	130
30	138	133
35	126	119
40	145	136
45	132	122
50	145	144
55	144	121
60	148	132
65	153	140
70	142	126
75	141	131
80	139	135
85	146	142
90	150	147

Estudio de campo.

Curvas de temperatura vs. tiempo durante el asado de pollos.

Prueba 3



t[min]	Te [°C]	Ti [°C]
0	17	17
1	46	35
2	72	52
3	91	60
4	96	65
5	100	70
6	106	77
8	105	83
10	121	92
12	120	96
14	129	105
16	133	104
18	131	112
20	136	117

t[min]	Te [°C]	Ti [°C]
25	138	120
30	141	127
35	140	126
40	144	131
45	136	128
50	145	135
55	139	134
60	143	137
65	144	140
70	148	141
75	145	139
80	146	140
85	142	138
90	145	139

ANEXO 3

Determinación de la masa promedio de pollos.

Estudio de campo.

Masa promedio de los pollos disponibles en el mercado.

Se utiliza una balanza mecánica y se anota la lectura de masa de 40 pollos, entregados durante los meses de enero y febrero del 2014.

Los proveedores entregan los pollos según el pedido realizado, ya sean grandes medianos o pequeños; para efectos de este estudio se anota la masa de pollos medianos.



Los pollos son entregados sin viseras y su masa varía entre 5 y 6 libras (2,3 – 2,7 kg). Los valores de masa anotados se muestran a continuación.

Fecha	Pollo	Masa [kg]
17-ene-14	1	2
17-ene-14	2	2,5
17-ene-14	3	2,2
17-ene-14	4	2,4
20-ene-14	5	2,4
20-ene-14	6	2,6
20-ene-14	7	2,4
20-ene-14	8	2,7
24-ene-14	9	2,3
24-ene-14	10	2,6
24-ene-14	11	2,5
24-ene-14	12	2,5
27-ene-14	13	2,2
27-ene-14	14	2,4
27-ene-14	15	2,3
27-ene-14	16	2,5
03-feb-14	17	2,2
03-feb-14	18	2,3
03-feb-14	19	2,3
03-feb-14	20	2,2

Fecha	Pollo	Masa [kg]
07-feb-14	21	2,3
07-feb-14	22	2,4
07-feb-14	23	2,4
07-feb-14	24	2,4
10-feb-14	25	2,6
10-feb-14	26	2,5
10-feb-14	27	2,5
10-feb-14	28	2,3
14-feb-14	29	2,5
14-feb-14	30	2,5
14-feb-14	31	2,6
14-feb-14	32	2,7
17-feb-14	33	2,5
17-feb-14	34	2,4
17-feb-14	35	2,5
17-feb-14	36	2,5
21-feb-14	37	2,2
21-feb-14	38	2,4
21-feb-14	39	2
21-feb-14	40	2,2

Finalmente se calcula el promedio de estos valores que es 2,4 Kg.

Anexo 4

Determinación de densidad de la carne de pollo.

Estudio de campo.

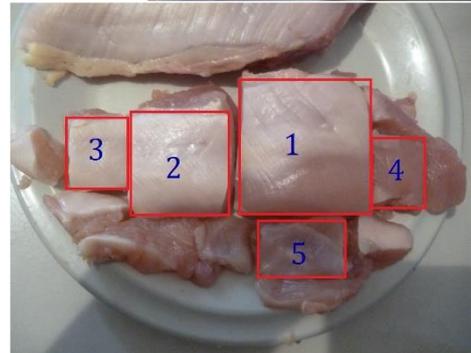
Densidad de la carne pollos.

Para este estudio se necesita de musculo magro del pollo, es decir, carne sin grasa ni hueso. Se seleccionan 6 pollos jóvenes y se extraen las



pechugas, ya que esta parte en particular permitirá realizar cortes relativamente grandes.

Se utilizan cortes de pollo medibles para obtener un volumen de carne y posteriormente se mide la masa del mismo. Se anotan las medidas de estos cortes y se muestran a continuación.



		corte	a [mm]	b [mm]	c [mm]	vol. [mm ³]	vol. [cm ³]
pollo1	lado izquierdo	1	59	60	28	99120	99,12
		2	46	45	19	39330	39,33
		3	25	33	13	10725	10,73
		4	32	27	21	18144	18,14
		5	27	36	16	15552	15,55
	lado derecho	1	59	59	27	93987	93,99
		2	47	47	18	39762	39,76
		3	28	32	14	12544	12,54
		4	34	30	23	23460	23,46
		5	30	36	16	17280	17,28
pollo2	lado izquierdo	1	55	63	26	90090	90,09
		2	46	44	19	38456	38,46
		3	28	30	15	12600	12,6
		4	33	27	21	18711	18,71
		5	24	38	16	14592	14,59
	lado derecho	1	56	63	30	105840	105,84
		2	47	44	21	43428	43,43
		3	28	31	11	9548	9,55
		4	32	30	23	22080	22,08
		5	26	36	15	14040	14,04

		corte	a [mm]	b [mm]	c [mm]	vol. [mm ³]	vol. [cm ³]
pollo3	lado izquierdo	1	59	57	29	97527	97,53
		2	43	45	17	32895	32,9
		3	22	34	11	8228	8,23
		4	34	29	23	22678	22,68
		5	25	33	18	14850	14,85
	lado derecho	1	58	62	30	107880	107,88
		2	44	44	17	32912	32,91
		3	22	30	13	8580	8,58
		4	32	24	23	17664	17,66
		5	26	38	15	14820	14,82
pollo4	lado izquierdo	1	61	60	27	98820	98,82
		2	44	45	19	37620	37,62
		3	28	33	13	12012	12,01
		4	29	26	21	15834	15,83
		5	30	33	14	13860	13,86
	lado derecho	1	62	57	26	91884	91,88
		2	49	43	20	42140	42,14
		3	28	33	15	13860	13,86
		4	31	29	20	17980	17,98
		5	28	38	18	19152	19,15
pollo5	lado izquierdo	1	55	61	27	90585	90,59
		2	48	44	17	35904	35,9
		3	24	32	11	8448	8,45
		4	35	26	23	20930	20,93
		5	30	34	14	14280	14,28
	lado derecho	1	56	61	27	92232	92,23
		2	43	42	17	30702	30,7
		3	25	32	11	8800	8,8
		4	32	29	23	21344	21,34
		5	25	38	14	13300	13,3
pollo6	lado izquierdo	1	55	59	26	84370	84,37
		2	45	48	17	36720	36,72
		3	23	32	12	8832	8,83
		4	31	25	20	15500	15,5
		5	27	37	15	14985	14,99
	lado derecho	1	59	59	27	93987	93,99
		2	49	43	17	35819	35,82
		3	24	35	13	10920	10,92
		4	29	29	23	19343	19,34
		5	25	39	14	13650	13,65

El volumen de carne extraído para medición es de 2131 cm³ y su masa total es de 2080 g, por tanto se tiene que la densidad es igual a 0,976 gr/cm³

Anexo 5

Simulación térmica del sistema.

[Se muestra en el CD adjunto al proyecto]

Anexo 6

Simulación de montaje del prototipo.

[Se muestra en el CD adjunto al proyecto]

Anexo 7

Parámetros para soldar en Acero Inoxidable con soldadura TIG.

[Fuente: Técnica y práctica de la soldadura; Giachino J.; Editorial Reverte;
5ª edición, 2007. (google)]

TABLA 17-8. SOLDADURA TIG DEL ACERO INOXIDABLE

ESPESOR PIEZAS (mm)	TIPO DE JUNTA	CORRIENTE CONTINUA				DIAMETRO ELECTRODO (mm)	CAUDAL DE ARGON litros/min	1,4 Kg/cm ² m ³ /hora	DIAMETRO VARILLA (mm)
		HORIZONTAL	VERTICAL Y CORNISA	TECHO	POLARIDAD DIRECTA AMPERIOS				
1,5	A tope	80-100	70-90	70-90	1,5	5	0,30	1,5	
	Solape	100-120	80-100	80-100	1,5	5	0,30	1,5	
	Esquina	80-100	70-90	70-90	1,5	5	0,30	1,5	
	Angulo interior	90-110	80-100	80-100	1,5	5	0,30	1,5	
2,5	A tope	100-120	90-110	90-110	1,5	5	0,30	1,5	
	Solape	110-130	100-120	100-120	1,5	5	0,30	1,5	
	Esquina	100-120	90-110	90-110	1,5	5	0,30	1,5	
	Angulo interior	110-130	100-120	100-120	1,5	5	0,30	1,5	
3	A tope	120-140	110-130	110-130	1,5	5	0,30	2,5	
	Solape	130-150	120-140	120-140	1,5	5	0,30	2,5	
	Esquina	120-140	110-130	115-135	1,5	5	0,30	2,5	
	Angulo interior	130-150	115-135	120-140	1,5	5	0,30	2,5	
5	A tope	200-250	150-200	150-200	2,5	6	0,36	3	
	Solape	225-275	175-225	175-225	2,5	6	0,36	3	
	Esquina	200-250	150-200	150-220	2,5	6	0,36	3	
	Angulo interior	225-275	175-225	175-225	2,5	6	0,36	3	
6	A tope	275-350	200-250	200-250	3	6	0,36	5	
	Solape	300-375	225-275	225-275	3	6	0,36	5	
	Esquina	275-350	200-250	200-250	3	6	0,36	5	
	Angulo interior	300-375	225-275	225-275	3	6	0,36	5	

Anexo 8

Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) para Acero inoxidable con soldadura TIG

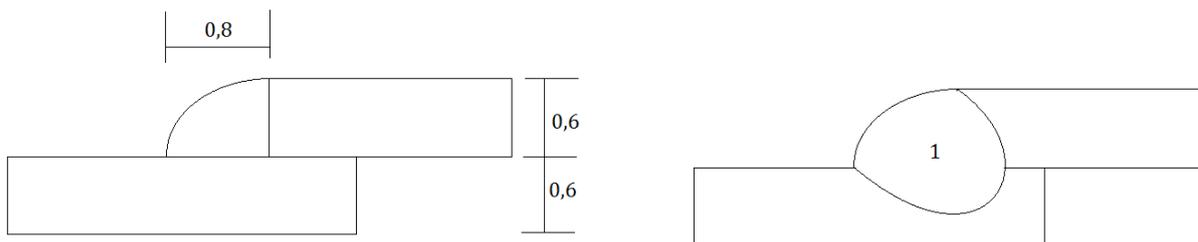


**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

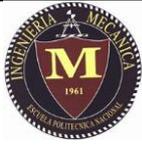
WPS No. 1
EPN. TESIS:
3121.01

Nombre de la Compañía : EPN PQR, No: xxxxx Según norma: AWS D1.1 - 2010		Fecha: 01-07-2014 Realizado por: Vinicio Sangacha – Diego Morán Organización: Escuela Politécnica Nacional	
Artículo I.	Junta Utilizada	Artículo II.	Técnica de soldadura
Tipo de junta:	traslape	Proceso de soldadura:	TIG (GTAW)
Abertura raíz:	0 mm	Tipo de soldadura:	manual
Talón:	0 mm	Lados de la soldadura:	un lado
Ángulo de ranura:	ninguno	Cordón de respaldo:	no
Placa de respaldo:	no	Limpieza:	si
Preparar bisel:	no	Pase raíz:	cepillo metálico
Método:	ninguno	Pases siguientes:	ninguno
Artículo III.	Metal Base	Artículo IV.	Metal de Aporte
Especificación:	ASTM A 304 (inoxidable)	Diámetro:	1mm
Espesor:	0,6 mm	Denominación AWS:	ER308
Diámetro:	N.R.	Diámetro de electrodo:	1mm
Pre calentamiento:	no	Denominación de electrodo:	EWTh1
Artículo V.	Posición de soldadura	Artículo VI.	Notas
Posición de soldadura:	2F	Ninguna.	
Progresión:	lq. a der.		
Técnica:	un pase		

Detalle de junta



No. de pases	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo [voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [amp]			oscilado	recto
1	ER308	1	DC-	70 - 90	27 - 29	230 - 250		x

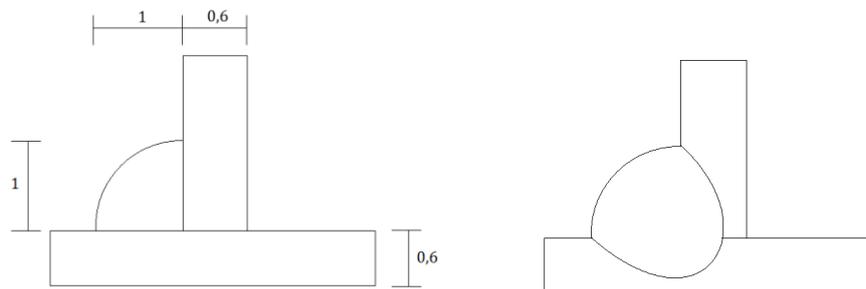


**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

WPS No. 2
EPN. TESIS:
3121.02

Nombre de la Compañía : EPN PQR, No: xxxxx Según norma: AWS D1.1 - 2010		Fecha: 01-07-2014 Realizado por: Vinicio Sangacha – Diego Morán Organización: Escuela Politécnica Nacional	
Artículo I.	Junta Utilizada	Artículo II.	Técnica de soldadura
Tipo de junta:	T	Proceso de soldadura:	TIG (GTAW)
Abertura raíz:	0 mm	Tipo de soldadura:	manual
Talón:	0 mm	Lados de la soldadura:	un lado
Ángulo de ranura:	ninguno	Cordón de respaldo:	no
Placa de respaldo:	no	Limpieza:	si
Preparar bisel:	no	Pase raíz:	cepillo metálico
Método:	ninguno	Pases siguientes:	ninguno
Artículo III.	Metal Base	Artículo IV.	Metal de Aporte
Especificación:	ASTM A 304 (inoxidable)	Diámetro:	1mm
Espesor:	0,6 mm	Denominación AWS:	ER308
Diámetro:	N.R.	Diámetro de electrodo:	1mm
Pre calentamiento:	no	Denominación de electrodo:	EWTh1
Artículo V.	Posición de soldadura	Artículo VI.	Notas
Posición de soldadura:	2F	Ninguna.	
Progresión:	Izq. a der.		
Técnica:	un pase		

Detalle de junta



No. de pases	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo [voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [amp]			oscilado	recto
1	ER308	1	DC-	70 - 90	27 - 29	230 - 250		x

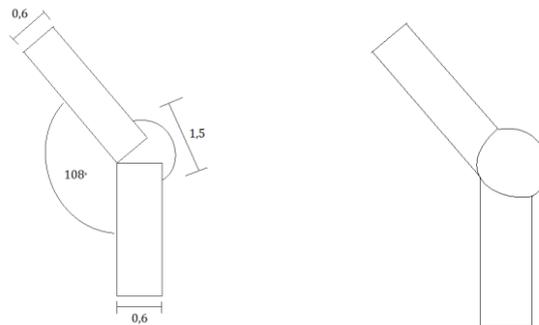


**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

WPS No. 3
EPN. TESIS:
3121.03

Nombre de la Compañía : EPN PQR, No: xxxxx Según norma: AWS D1.1 - 2010		Fecha: 01-07-2014 Realizado por: Vinicio Sangacha – Diego Morán Organización: Escuela Politécnica Nacional	
Artículo I.	Junta Utilizada	Artículo II.	Técnica de soldadura
Tipo de junta:	esquina	Proceso de soldadura:	TIG (GTAW)
Abertura raíz:	0 mm	Tipo de soldadura:	manual
Talón:	0 mm	Lados de la soldadura:	un lado
Ángulo de ranura:	ninguno	Cordón de respaldo:	no
Placa de respaldo:	no	Limpieza:	si
Preparar bisel:	no	Pase raíz:	cepillo metálico
Método:	ninguno	Pases siguientes:	ninguno
Artículo III.	Metal Base	Artículo IV.	Metal de Aporte
Especificación:	ASTM A 304 (inoxidable)	Diámetro:	1mm
Espesor:	0,6 mm	Denominación AWS:	ER308
Diámetro:	N.R.	Diámetro de electrodo:	1mm
Pre calentamiento:	no	Denominación de electrodo:	EWTh1
Artículo V.	Posición de soldadura	Artículo VI.	Notas
Posición de soldadura:	2G	Ninguna.	
Progresión:	lq. a der.		
Técnica:	un pase		

Detalle de junta



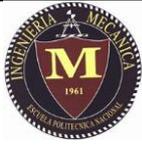
No. de pases	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo [voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [amp]			oscilado	recto
1	ER308	1	DC-	70 - 90	27 - 29	230 - 250		x



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

WPS No. 4
EPN. TESIS:
3121.04

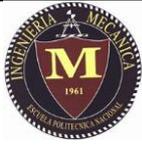
Nombre de la Compañía : EPN PQR, No: xxxxx Según norma: AWS D1.1 - 2010		Fecha: 01-07-2014 Realizado por: Vinicio Sangacha – Diego Morán Organización: Escuela Politécnica Nacional						
Artículo I.	Junta Utilizada	Artículo II.	Técnica de soldadura					
Tipo de junta:	T	Proceso de soldadura:	TIG (GTAW)					
Abertura raíz:	0 mm	Tipo de soldadura:	manual					
Talón:	0 mm	Lados de la soldadura:	un lado					
Ángulo de ranura:	ninguno	Cordón de respaldo:	no					
Placa de respaldo:	no	Limpieza:	si					
Preparar bisel:	no	Pase raíz:	cepillo metálico					
Método:	ninguno	Pases siguientes:	ninguno					
Artículo III.	Metal Base	Artículo IV.	Metal de Aporte					
Especificación1:	ASTM A 304 (inoxidable)	Diámetro:	1mm					
Espesor:	0,6 mm	Denominación AWS:	ER308					
Especificación2:	ASTM A 36	Diámetro de electrodo:	1mm					
Espesor:	3 mm	Denominación de electrodo:	EWTh1					
Pre calentamiento:	no							
Artículo V.	Posición de soldadura	Artículo VI.	Notas					
Posición de soldadura:	2F	Ninguna.						
Progresión:	lq. a der.							
Técnica:	un pase							
Detalle de junta								
No. de pases	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo [voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [amp]			oscilado	recto
1	ER308	1	DC-	70 - 90	27 - 29	230 - 250		x



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

WPS No. 5
EPN. TESIS:
3121.05

Nombre de la Compañía : EPN PQR, No: xxxxx Según norma: AWS D1.1 - 2010		Fecha: 01-07-2014 Realizado por: Vinicio Sangacha – Diego Morán Organización: Escuela Politécnica Nacional						
Artículo I.	Junta Utilizada	Artículo II.	Técnica de soldadura					
Tipo de junta:	T	Proceso de soldadura:	SMAW					
Abertura raíz:	0 mm	Tipo de soldadura:	manual					
Talón:	0 mm	Lados de la soldadura:	un lado					
Ángulo de ranura:	ninguno	Cordón de respaldo:	no					
Placa de respaldo:	no	Limpieza:	si					
Preparar bisel:	no	Pase raíz:	cepillo metálico					
Método:	ninguno	Pases siguientes:	ninguno					
Artículo III.	Metal Base	Artículo IV.	Metal de Aporte					
Especificación:	ASTM A 36	Diámetro:	3 mm					
Espesor:	3 mm	Denominación AWS:	E6010					
Diámetro:	N.R.		1mm					
Pre calentamiento:	no							
Artículo V.	Posición de soldadura	Artículo VI.	Notas					
Posición de soldadura:	2F	Ninguna.						
Progresión:	Izq. a der.							
Técnica:	un pase							
Detalle de junta								
No. de pases	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo [voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [amp]			oscilado	recto
1	ER308	1	DC-	70 - 90	27 - 29	230 - 250		x

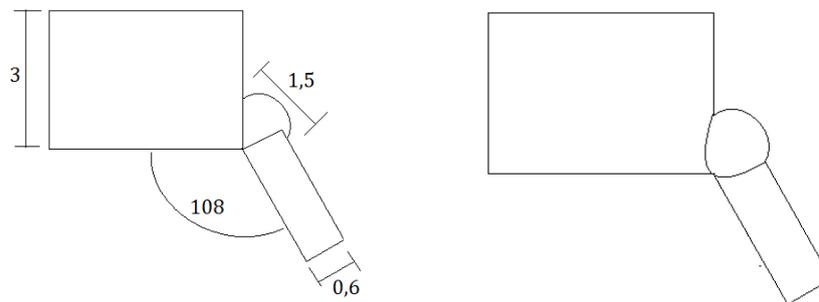


**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

WPS No. 6
EPN. TESIS:
3121.06

Nombre de la Compañía : EPN PQR, No: xxxxx Según norma: AWS D1.1 - 2010		Fecha: 01-07-2014 Realizado por: Vinicio Sangacha – Diego Morán Organización: Escuela Politécnica Nacional	
Artículo I.	Junta Utilizada	Artículo II.	Técnica de soldadura
Tipo de junta:	esquina	Proceso de soldadura:	TIG (GTAW)
Abertura raíz:	0 mm	Tipo de soldadura:	manual
Talón:	0 mm	Lados de la soldadura:	un lado
Ángulo de ranura:	ninguno	Cordón de respaldo:	no
Placa de respaldo:	no	Limpieza:	si
Preparar bisel:	no	Pase raíz:	cepillo metálico
Método:	ninguno	Pases siguientes:	ninguno
Artículo III.	Metal Base	Artículo IV.	Metal de Aporte
Especificación1:	ASTM A 304 (inoxidable)	Diámetro:	1mm
Espesor:	0,6 mm	Denominación AWS:	ER308
Especificación2:	ASTM A 36	Diámetro de electrodo:	1mm
Espesor:	3 mm	Denominación de electrodo:	EWTh1
Pre calentamiento:	no		
Artículo V.	Posición de soldadura	Artículo VI.	Notas
Posición de soldadura:	2G	Ninguna.	
Progresión:	lq. a der.		
Técnica:	un pase		

Detalle de junta



No. de pases	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo [voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [amp]			oscilado	recto
1	ER308	1	DC-	70 - 90	27 - 29	230 - 250		x



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

WPS No. 7
EPN. TESIS:
3121.07

Nombre de la Compañía : EPN PQR, No: xxxxx Según norma: AWS D1.1 - 2010		Fecha: 01-07-2014 Realizado por: Vinicio Sangacha – Diego Morán Organización: Escuela Politécnica Nacional						
Artículo I.	Junta Utilizada	Artículo II.	Técnica de soldadura					
Tipo de junta:	A tope	Proceso de soldadura:	TIG (GTAW)					
Abertura raíz:	0 mm	Tipo de soldadura:	manual					
Talón:	0 mm	Lados de la soldadura:	un lado					
Ángulo de ranura:	ninguno	Cordón de respaldo:	no					
Placa de respaldo:	no	Limpieza:	si					
Preparar bisel:	no	Pase raíz:	cepillo metálico					
Método:	ninguno	Pases siguientes:	ninguno					
Artículo III.	Metal Base	Artículo IV.	Metal de Aporte					
Especificación:	ASTM A 304 (inoxidable)	Diámetro:	1mm					
Espesor:	0,6 mm	Denominación AWS:	ER308					
Diámetro:	N.R.	Diámetro de electrodo:	1mm					
Pre calentamiento:	no	Denominación de electrodo:	EWTh1					
Artículo V.	Posición de soldadura	Artículo VI.	Notas					
Posición de soldadura:	3G	Ninguna.						
Progresión:	descendente.							
Técnica:	un pase							
Detalle de junta								
No. de pases	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo [voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [amp]			oscilado	recto
1	ER308	1	DC-	70 - 90	27 - 29	200 - 230		x

Anexo 9

**Planos de piezas, desarrollo y montaje para construcción del horno para
asado de pollos.**

Anexo 10

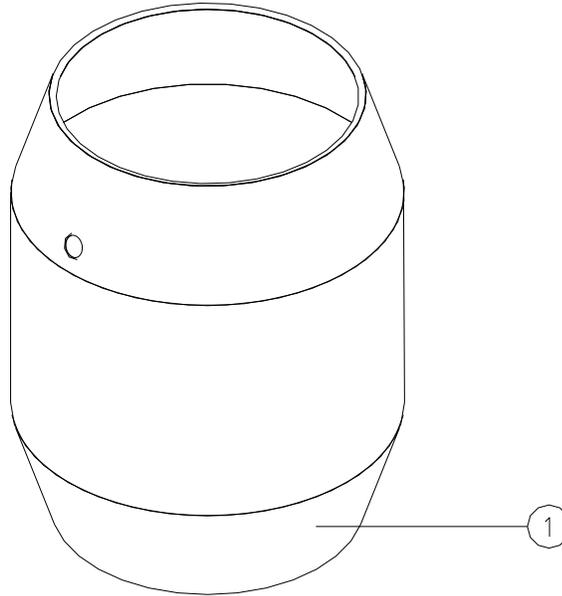
Hojas de procesos para construcción del horno para asado de pollos.

HOJA DE PROCESOS

Nombre de la unidad: HORNO VERTICAL PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS

Tiempo total de duración: min

Posición	Cantidad	Denominación	Material	Observación
.101	2	Lamina cilíndrica interior y exterior superior	Acero ASTM A304	Ninguna



Fase	Sub Fase	N°	OPERACIONES	[rpm]	UTILES		TIEMPOS	
					Trabajo	Control	Empleado	Máximo
cortado	10	11 12 13 14	Puesta a punto Cortar 1 Hacer orificio en 3 Limpiar rebordes	6600	DC	FL	10	15
Rolado	20	21 22 23	Puesta a punto Ajuste de rodillos Proceder rolado cónico		RD	FL	10	14
soldado	30	31	Soldar 1 y 2		MS	FL	10	15

CÓDIGO DE UTILES.

BC= Boquilla de corte

FL= Flexómetro

DC= Disco de cortar de 230mm

RD= Rodillos

MS= Máquina para soldar

FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA

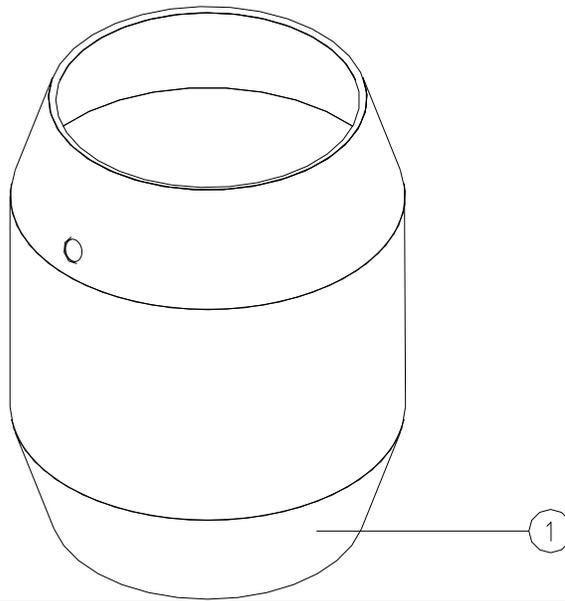
E.P.N

HOJA DE PROCESOS

Nombre de la unidad: HORNO VERTICAL PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS

Tiempo total de duración: min

Posición	Cantidad	Denominación	Material	Observación
.101	2	Lamina cilíndrica interior y exterior central	Acero ASTM A304	Ninguna



Fase	Sub Fase	N°	OPERACIONES	[rpm]	UTILES		TIEMPOS	
					Trabajo	Control	Empleado	Máximo
cortado	10	11 12 13 14	Puesto a punto Cortar 1 Hacer orificio en 3 Limpiar rebordes	6600	DC	FL	10	15
Rolado	20	21 22 23	Puesta a punto Ajuste de rodillos Proceder rolado		RD	FL	10	14
soldado	30	31	Soldar 1 y 2		MS	FL	10	15

CÓDIGO DE UTILES.

BC= Boquilla de corte

FL= Flexómetro

DC= Disco de cortar de 230mm

RD= Rodillos

MS= Máquina para soldar

FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA

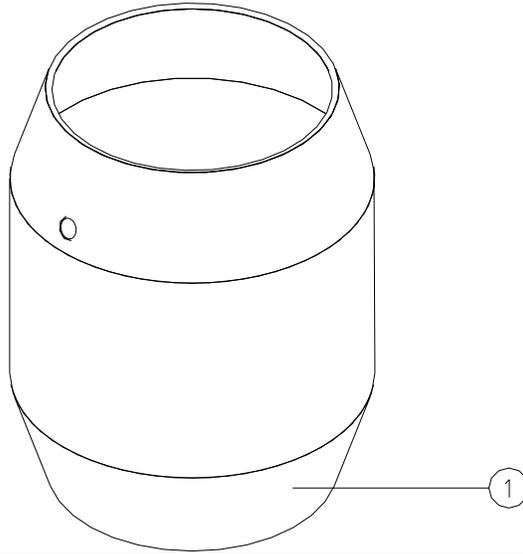
E.P.N

HOJA DE PROCESOS

Nombre de la unidad: HORNO VERTICAL PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS

Tiempo total de duración: min

Posición	Cantidad	Denominación	Material	Observación
.101	2	Lamina cilíndrica interior y exterior inferior	Acero ASTM A304	Ninguna



Fase	Sub Fase	Nº	OPERACIONES	[rpm]	UTILES		TIEMPOS	
					Trabajo	Control	Empleado	Máximo
cortado	10	11 12 13 14	Puesto a punto Cortar 1 Cortar 3 Limpiar rebordes	6600	DC	FL	10	15
Rolado	20	21 22 23	Puesta a punto Ajuste de rodillos Proceder rolado cónico		RD	FL	10	14
soldado	30	31 32	Soldar 1 y 2 Soldar 4		MS	FL	10	15

CÓDIGO DE UTILES.

BC= Boquilla de corte

FL= Flexómetro

DC= Disco de cortar de 230mm

RD= Rodillos

MS= Máquina para soldar

FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA

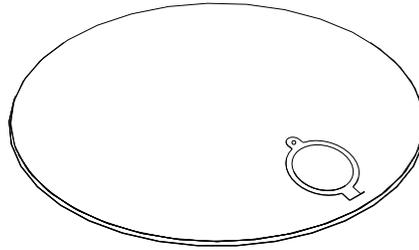
E.P.N

HOJA DE PROCESOS

Nombre de la unidad: HORNO VERTICAL PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS

Tiempo total de duración: min

Posición	Cantidad	Denominación	Material	Observación
.102	2	Tapa superior	Acero ASTM A304	Ninguna



Fase	Sub Fase	Nº	OPERACIONES	[rpm]	UTILES		TIEMPOS	
					Trabajo	Control	Empleado	Máximo
cortado	10	11 12 13 14	Puesto a punto Cortar 1 Hacer orificio en 4 Limpiar rebordes	6600	DC	FL	10	15
Rolado	20	21 22 23	Puesta a punto Ajuste de rodillos Proceder rolado		RD	FL	10	14
soldado	30	31	Soldar 3		MS	FL	10	15

CÓDIGO DE UTILES.

BC= Boquilla de corte
 FL= Flexómetro
 DC= Disco de cortar de 230mm
 RD= Rodillos
 MS= Máquina para soldar

FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA

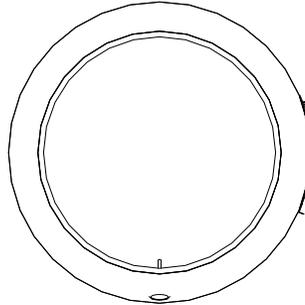
E.P.N

HOJA DE PROCESOS

Nombre de la unidad: HORNO VERTICAL PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS

Tiempo total de duración: _____ min

Posición	Cantidad	Denominación	Material	Observación
.103	2	Tapa inferior	Acero ASTM A304	Ninguna



Fase	Sub Fase	N°	OPERACIONES	[rpm]	UTILES		TIEMPOS	
					Trabajo	Control	Empleado	Máximo
cortado	10	11 12 13 14	Puesto a punto Cortar 1 Cortar 2 Limpiar rebordes	6600	DC	FL	10	15
Rolado	20	21 22 23	Puesta a punto Ajuste de rodillos Proceder rolado		RD	FL	10	14
soldado	30	31	Soldar 3		MS	FL	10	15

CÓDIGO DE UTILES.

BC= Boquilla de corte
 FL= Flexómetro
 DC= Disco de cortar de 230mm
 RD= Rodillos
 MS= Máquina para soldar

FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA

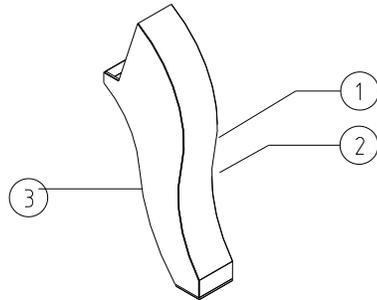
E.P.N

HOJA DE PROCESOS

Nombre de la unidad: HORNO VERTICAL PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS

Tiempo total de duración: min

Posición	Cantidad	Denominación	Material	Observación
.104	3	apoyos	Acero ASTM A36	Ninguna



Fase	Sub Fase	N°	OPERACIONES	[rpm]	UTILES		TIEMPOS	
					Trabajo	Control	Empleado	Máximo
cortado	10	11	Puesto a punto	6600	DC	FL	10	15
		12	Cortar 1					
		13	Cortar 2					
		14	Cortar 3					
		15	Cortar 4					
16	Limpiar rebordes							
Rolado	20	21	Puesta a punto		RD	FL	10	14
		22	Ajuste de rodillos					
		23	Proceder rolado 1 y 2					
soldado	30	31	Soldar 1,2,3 y 4		MS	FL	10	15

CÓDIGO DE UTILES.

BC= Boquilla de corte
 FL= Flexómetro
 DC= Disco de cortar de 230mm
 RD= Rodillos
 MS= Máquina para soldar

FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA

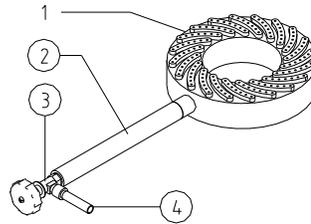
E.P.N

HOJA DE PROCESOS

Nombre de la unidad: HORNO VERTICAL PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS

Tiempo total de duración: _____ min

Posición	Cantidad	Denominación	Material	Observación
.105	4	Conjunto quemador	Acero ASTM A36	Ninguna



Fase	Sub Fase	N°	OPERACIONES	[rpm]	UTILES		TIEMPOS	
					Trabajo	Control	Empleado	Máximo
cortado	10	11 12 13 14	Puesto a punto Cortar 1 Hacer orificio Limpiar rebordes	6600	DC	FL	10	15
soldado	20	21	Soldar 2		MS	FL	10	14

CÓDIGO DE UTILES.
 BC= Boquilla de corte
 FL= Flexómetro
 DC= Disco de cortar de 230mm
 RD= Rodillos
 MS= Máquina para soldar

FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA

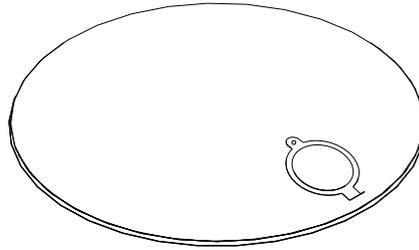
E.P.N

HOJA DE PROCESOS

Nombre de la unidad: HORNO VERTICAL PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS

Tiempo total de duración: _____ min

Posición	Cantidad	Denominación	Material	Observación
.106	1	Tapa chimenea	Acero ASTM A304	Ninguna



Fase	Sub Fase	N°	OPERACIONES	[rpm]	UTILES		TIEMPOS	
					Trabajo	Control	Empleado	Máximo
cortado	10	11 12 13	Puesto a punto Cortar 1 Limpiar rebordes	6600	DC	FL	5	10

CÓDIGO DE UTILES.
 BC= Boquilla de corte
 FL= Flexómetro
 DC= Disco de cortar de 230mm
 RD= Rodillos
 MS= Máquina para soldar

FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA

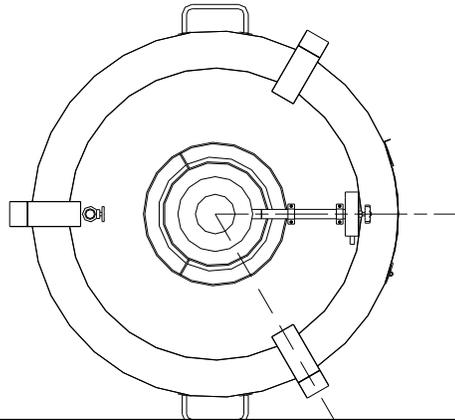
E.P.N

HOJA DE PROCESOS

Nombre de la unidad: HORNO VERTICAL PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS

Tiempo total de duración: min

Posición	Cantidad	Denominación	Material	Observación
.103	4	Zona de flama	Acero ASTM A304	Ninguna



Fase	Sub Fase	Nº	OPERACIONES	[rpm]	UTILES		TIEMPOS	
					Trabajo	Control	Empleado	Máximo
cortado	10	11	Puesto a punto	6600	DC	FL	10	15
		12	Cortar 1					
		13	Cortar 2					
		14	Hacer orificios					
		15	Limpiar rebordes					
Rolado	20	21	Puesta a punto		RD	FL	10	14
		22	Ajuste de rodillos					
		23	Proceder rolado 1					
soldado	30	31	Soldar 1 y 2		MS	FL	10	14

CÓDIGO DE UTILES.
 BC= Boquilla de corte
 FL= Flexómetro
 DC= Disco de cortar de 230mm
 RD= Rodillos
 MS= Máquina para soldar

FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA

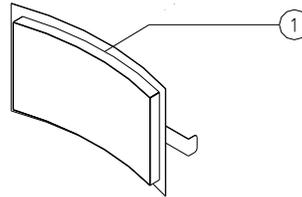
E.P.N

HOJA DE PROCESOS

Nombre de la unidad: HORNO VERTICAL PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS

Tiempo total de duración: min

Posición	Cantidad	Denominación	Material	Observación
.107	4	Tapa lateral	Acero ASTM A304	Ninguna



Fase	Sub Fase	N°	OPERACIONES	[rpm]	UTILES		TIEMPOS	
					Trabajo	Control	Empleado	Máximo
cortado	10	11 12 13	Puesto a punto Cortar 1 Limpiar rebordes	6600	DC	FL	10	15
soldado	20	21	Soldar 1		MS	FL	10	14

CÓDIGO DE UTILES.

- BC= Boquilla de corte
- FL= Flexómetro
- DC= Disco de cortar de 230mm
- RD= Rodillos
- MS= Máquina para soldar

FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA

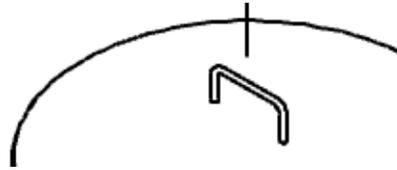
E.P.N

HOJA DE PROCESOS

Nombre de la unidad: HORNO VERTICAL PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS

Tiempo total de duración: min

Posición	Cantidad	Denominación	Material	Observación
.001	3	Manijas	Acero ASTM A36	Ninguna



Fase	Sub Fase	N°	OPERACIONES	[rpm]	UTILES		TIEMPOS	
					Trabajo	Control	Empleado	Máximo
soldado	10	11 12	Puesto a punto Soldar		MS	FL	10	14

CÓDIGO DE UTILES.

BC= Boquilla de corte

FL= Flexómetro

DC= Disco de cortar de 230mm

RD= Rodillos

MS= Máquina para soldar

FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA

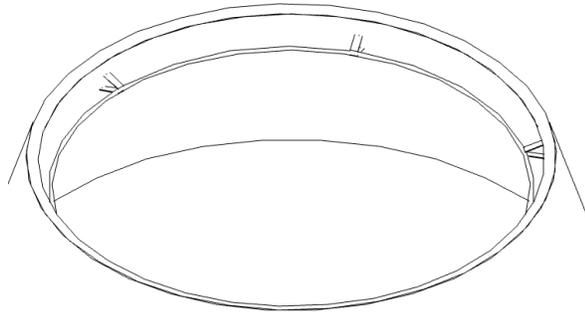
E.P.N

HOJA DE PROCESOS

Nombre de la unidad: HORNO VERTICAL PARA EL ASADO DE POLLOS PARRILLEROS

Tiempo total de duración: min

Posición	Cantidad	Denominación	Material	Observación
.107	1	Anillo interior	Acero ASTM A304	Ninguna



Fase	Sub Fase	N°	OPERACIONES	[rpm]	UTILES		TIEMPOS	
					Trabajo	Control	Empleado	Máximo
cortado	10	11 12 13	Puesto a punto Cortar 1 Limpiar rebordes	6600	DC	FL	10	15
soldado	20	21	Soldar 1		MS	FL	10	14

CÓDIGO DE UTILES.
 BC= Boquilla de corte
 FL= Flexómetro
 DC= Disco de cortar de 230mm
 RD= Rodillos
 MS= Máquina para soldar

FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA

E.P.N

Anexo 11

Protocolo de pruebas para el prototipo construido.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
PROTOCOLO DE PRUEBAS**

EPN. TESIS:
3121

PRUEBAS VISUALES

CARACTERÍSTICA	BIEN	MAL	ACEPTABLE
Estructura			
Soldadura			
Estético			
Tamaño y forma			
Estabilidad			
APRUEBA	SI	NO	

PRUEBAS DIMENSIONALES

DIMENSIÓN [mm]	DISEÑO	PROTOTIPO	%ERROR	BIEN	MAL
Altura de la cámara					
Diámetro interno de la cámara					
Altura de confinamiento de llama					
Diámetro del confinamiento de llama					
Diámetro de chimenea					
Distancia del suelo a la base					
Diámetro de la tapa					
APRUEBA				SI	NO



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
PROTOCOLO DE PRUEBAS**

**PRUEBAS
EPN. TESIS:
3121.PP**

PRUEBAS EN VACÍO [SIN CARGA]

CARACTERISTICA	BIEN	MAL	ACEPTABLE
Regulación del flujo de gas			
Distribución de la llama en el quemador			
Llega a la temperatura requerida			
Tiempo en elevar la temperatura alcanzado			
Escape de gases con chimenea cerrada			
Escape de gases con chimenea abierta			
APRUEBA	SI	NO	

PRUEBAS CON CARGA

CARACTERISTICA	BIEN	MAL	ACEPTABLE
Elevar pollos a la temperatura requerida			
Tiempo de temperatura de pollos alcanzado			
Mantener pollos a la temperatura requerida			
Mantener temperatura con chimenea cerrada			
Mantener temperatura con chimenea ligeramente abierta			
Mantener temperatura con chimenea semiabierta			
APRUEBA	SI	NO	

APROBACIÓN FINAL

APRUEBA	SI	NO	Responsabilidad
			Nombre: _____ Fecha: _____ Firma: _____