

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO DOMÉSTICO

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

ROBALINO GRANDA LUIS FERNANDO
robalinogranda.luisf@gmail.com

SÁNCHEZ ILLANES AMPARO IVONNE
amparo.sanchezi16@gmail.com

DIRECTOR:
Ing. Mario Cesén, Msc.

Quito, abril de 2016

DECLARACIÓN

Nosotros, **Amparo Ivonne Sánchez Illanes** y **Luis Fernando Robalino Granda** declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

Amparo Ivonne Sánchez Illanes

Luis Fernando Robalino Granda

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por AMPARO IVONNE SÁNCHEZ ILLANES y LUIS FERNANDO ROBALINO GRANDA bajo mi supervisión.

Ing. Mario Cesén, Msc.
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por regalarme la oportunidad de terminar mi carrera, a mis padres Luis y Rocío, en especial a mi querida madre por el apoyo incondicional que me dedicó para culminar ésta meta, a mis abuelitos Fabiola y Ángel por el inmenso cariño que me brindaron desde niño, a Gabby y Marcelo por ser un ejemplo de lucha y perseverancia y ofrecerme los mejores deseos y consejos para mi vida, al resto de mi maravillosa familia, que no podría citar en este momento, pero que siempre desearon lo mejor para mí.

A Amparo, por ser mi apoyo incondicional en estos años, a mis maestros Marylin y Mario por el apoyo y paciencia de su parte durante la realización de este proyecto y a mis amigos por los momentos vividos en estos años de universidad.

Fernando

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por su fidelidad y misericordia, por guardar mi vida en cada paso.

*“No temas, porque yo estoy contigo; no desmayes, porque yo soy tu Dios que te esfuerzo;
siempre te ayudaré, siempre te sustentaré con la diestra de mi justicia”*

Isaías 41:10

Agradezco a mi padre Manuel Jesús Sánchez, por su oraciones y apoyo constante y a mi madre que aún que ahora no está con nosotros; siempre apostó por mí.

Quiero agradecerles a ustedes Miguel, Aríbal, Rocío, Carmiña y Guido por su apoyo y confianza, pero sobre todo a ti Rocío a quien le debo todo lo que soy y todo lo que he alcanzado, gracias por tu ejemplo y guía, pero sobre todo gracias por cuidar de mí.; también a ustedes Klever, Luis, Marce, Pili y Raque gracias por creer en mí.

A ti Fer mi amigo y compañero, gracias por tu ayuda, apoyo, paciencia y amor.

Gracias infinitas a los ingenieros y personal administrativo que fueron parte de mi carrera estudiantil en la Facultad de Ingeniería Mecánica, pero sobre todo al Ing. Mario Cesén y la Ing. Marylin Pumisacho, gracias por su guía y apoyo incondicional.

Y gracias a esas lindas personitas que me brindaron su amistad y cariño e hicieron de esta etapa de mi vida una experiencia inolvidable.

Amparo

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, a todos los niños de mi familia, con la infinita confianza de que pueden alcanzar metas más grandes que las mías.

Fernando

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a ustedes mi inspiración constante y mi mejor regalo, mis sobrinos: Karen, Pame, Milca, Josi, Joel, Emanuel, Joseline, Majos, Adrian, Anze, Nori, Marieta y los que vendrán; porque sé que ustedes lo harán mucho mejor que yo.

Amparo

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	1
CERTIFICACIÓN	2
AGRADECIMIENTO.....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
DEDICATORIA	5
DEDICATORIA	6
ÍNDICE DE CONTENIDO	7
ÍNDICE DE TABLAS	12
ÍNDICE DE FIGURAS	15
ÍNDICE DE GRÁFICOS	18
ANEXOS	19
RESUMEN	20
CAPÍTULO 1	22
1. GENERALIDADES	22
1.1. Introducción	22
1.2. Definiciones	23
1.2.1. Horno	23
1.2.2. Clasificación	24
1.2.2.1. <i>Por su Tipo de Operación</i>	24
1.2.2.2. <i>Por su uso</i>	25
1.2.2.3. <i>Por el tipo de calentamiento</i>	25
1.2.2.4. <i>Por el tipo de cocción</i>	26
1.2.2.5. <i>Por la ubicación en la cocina:</i>	26
1.2.3. Partes de un horno.....	26
1.2.3.1. <i>Cámara de calentamiento</i>	27
1.2.3.2. <i>Revestimiento Aislante</i>	28
1.2.3.3. <i>Elementos eléctricos</i>	31
1.2.3.4. <i>Panel de control</i>	39
1.2.3.5. <i>Ventilador</i>	41
1.2.3.6. <i>Bastidor</i>	45
CAPÍTULO 2	51
2. MARCO TEÓRICO	51
2.1. Diseño Estructural	51

2.1.1.	Esfuerzo normal	51
2.1.2.	Límite de proporcionalidad	51
2.1.3.	Módulo de elasticidad	52
2.1.4.	Esfuerzo de fluencia	52
2.1.5.	Placas delgas	52
2.1.5.1.	<i>Esfuerzo y deflexión en placas delgadas</i>	53
2.1.6.	Factor de seguridad	55
2.1.7.	Dilatación térmica	56
2.2.	Dimensionamiento térmico	56
2.2.1.	Primera ley de la termodinámica	57
2.2.2.	Calor	57
2.2.2.1.	<i>Calor sensible</i>	57
2.2.2.2.	<i>Calor latente</i>	58
2.2.2.3.	<i>Calor por equipos auxiliares de operación</i>	58
2.2.2.4.	<i>Calor por reacciones químicas</i>	59
2.2.3.	Transferencia de calor por radiación	62
2.2.4.	Transferencia de calor por convección	62
2.2.5.	Convección forzada	63
2.2.5.1.	<i>Número de Nusselt</i>	64
2.2.5.2.	<i>Temperatura de película</i>	64
2.2.5.3.	<i>Número de Reynolds</i>	65
2.2.5.4.	<i>Número de Nusselt en convección forzada sobre cilindros circulares</i>	65
2.2.6.	Convección libre o natural	66
2.2.6.1.	<i>Número de Grashof</i>	67
2.2.6.2.	<i>Número de Rayleigh</i>	67
2.2.6.3.	<i>Número de Nusselt sobre placas verticales</i>	68
2.2.6.4.	<i>Número de Nusselt sobre placas horizontales (superficie superior)</i>	68
2.2.6.5.	<i>Número de Nusselt sobre placas horizontales (superficie inferior)</i>	69
2.2.6.6.	<i>Número de Nusselt en espacios cerrados rectangulares verticales</i>	70
2.2.7.	Transferencia de calor por conducción	71
2.2.8.	Ecuación de estado de gas ideal	71
2.3.	Análisis por elementos finitos	72
CAPÍTULO 3		74
3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE UN HORNO ELÉCTRICO DOMÉSTICO		74
3.1.	Casa de la calidad	74
3.1.1.	Voz del usuario	74
3.1.2.	Voz del ingeniero	75
3.1.2.1.	<i>Conclusiones de la casa de la calidad</i>	75
3.2.	Especificaciones técnicas	76
3.2.1.	Análisis de la estructura funcional	78
3.3.	Definición de módulos	79

3.3.1.	Estructura	79
3.3.2.	Transferencia de Calor	79
3.3.3.	Convección Forzada	79
3.3.4.	Estudio Eléctrico	79
3.4.	Soluciones para cada modulo	80
3.4.1.	Selección de alternativas	80
3.4.1.1.	Módulo 1 (Estructura)	80
3.4.1.2.	Módulo 2 (Transferencia de calor)	81
3.4.1.3.	Módulo 3 (Convección Forzada)	81
3.4.1.4.	Módulo 4 (Estudio Eléctrico)	81
3.5.	Módulo 1	81
3.5.1.	Abrir y cerrar la puerta	81
3.5.1.1.	Alternativa 1	82
3.5.1.2.	Alternativa 2	83
3.5.2.	Colocar alimentos en la bandeja	84
3.5.2.1.	Alternativa 1	84
3.5.3.	Colocar la bandeja en la cámara de cocción	85
3.5.3.1.	Alternativa 1	85
3.5.3.2.	Alternativa 2	86
3.5.4.	Cámara de cocción	87
3.5.4.1.	Alternativa 1	87
3.5.4.2.	Alternativa 2	88
3.5.5.	Alternativas de módulos	89
3.5.6.	Evaluación y selección de los módulos	90
3.6.	Módulo 2	92
3.6.1.	Fuente de Calor	92
3.6.1.1.	Alternativa 1	92
3.6.2.	Controlar la temperatura externa del horno	93
3.6.2.1.	Alternativa 1	94
3.6.2.2.	Alternativa 2	94
3.6.3.	Alternativas de módulos	95
3.6.4.	Evaluación y selección de los módulos	96
3.7.	Módulo 3	98
3.7.1.	Determinar el tipo de ventilador a utilizar	98
3.8.	Módulo 4	99
3.8.1.	Determinar la temperatura de cocción	99
3.8.1.1.	Alternativa 1	100
3.8.1.2.	Alternativa 2	101
3.8.2.	Encender el horno (fuente de energía, luz y ventilador) y controlar el tiempo 101	
3.8.2.1.	Alternativa 1	102
3.8.2.2.	Alternativa 2	102

3.8.3.	Cableado eléctrico.....	103
3.8.4.	Energizar todo el sistema (ventilador, panel de control, luz led, resistencia).....	104
3.8.5.	Alternativas de módulos	105
3.8.6.	valuación y selección de los módulos.....	107
CAPÍTULO 4.....		110
4.	CÁLCULO, SELECCIÓN Y DIMENSIÓN DE COMPONENTES	110
4.1.	Diseño Estructural.....	110
4.1.1.	Bandeja	110
4.1.1.1.	<i>Cálculo del espesor mínimo y la deflexión máxima en la bandeja</i>	<i>111</i>
4.1.1.2.	<i>Dilatación térmica en la bandeja.....</i>	<i>114</i>
4.1.1.3.	<i>Simulación de la bandeja</i>	<i>115</i>
4.1.2.	Paredes	117
4.2.	Diseño térmico del horno	118
4.2.1.	Balace de energía	118
4.2.2.	Calor sensible del alimento al entrar al horno	120
4.2.3.	Calor adicional de entrada	121
4.2.4.	Calor por reacciones exotérmicas	122
4.2.5.	Calor entregado al alimento para la cocción.....	122
4.2.5.1.	<i>Calor entregado por radiación</i>	<i>122</i>
4.2.5.2.	<i>Calor entregado por convección forzada.....</i>	<i>123</i>
4.2.6.	Calor sensible y latente del alimento al salir del horno	126
4.2.7.	Calor adicional de salida.....	127
4.2.7.1.	<i>Calor necesario para calentar la bandeja</i>	<i>128</i>
4.2.7.2.	<i>Calor para calentar el aire de la cámara</i>	<i>128</i>
4.2.8.	Pérdidas de calor al ambiente	129
4.2.8.1.	<i>Pérdidas de calor por radiación</i>	<i>130</i>
4.2.8.2.	<i>Pérdidas de calor por convección.....</i>	<i>131</i>
4.2.9.	Calor por reacciones endotérmicas	133
4.2.10.	Resistencia eléctrica	135
4.2.11.	Dimensionamiento del aislante térmico	135
4.2.12.	Dimensionamiento del espacio entre vidrios de la puerta.....	136
4.2.13.	Simulación.....	138
4.2.13.1.	<i>Modelo.....</i>	<i>138</i>
4.2.13.2.	<i>Parámetros de Simulación</i>	<i>138</i>
4.3.	Resultados	139
4.3.1.	Resultados de la simulación.....	140
4.4.	Elementos complementarios de un horno	143
4.4.1.	Bombilla eléctrica	143
4.4.2.	Vidrio	145
4.4.3.	Aglutinante.....	146
CAPÍTULO 5.....		149

5. ANÁLISIS DE COSTOS.....	149
5.1. Estudio de mercado	149
5.2. Estudio de Inversión.....	151
5.2.1. Costos de un proyecto de inversión	156
5.2.1.1. <i>Costos Directos</i>	156
5.2.1.2. <i>Costo de fabricación</i>	161
5.2.1.3. <i>Gastos de administración</i>	162
5.2.1.4. <i>Gastos de ventas</i>	163
5.2.1.1. <i>Gastos de financieros</i>	164
5.3. Depreciación.....	164
5.4. Ingresos	164
5.5. Estado proforma de pérdidas y ganancias	165
5.6. Evaluación Financiera	166
5.6.1. VAN y TIR	166
5.6.2. Relación beneficio costo (B/C).....	167
5.6.3. Tiempo de recuperación de la inversión y rentabilidad	167
5.6.4. Indicadores de rentabilidad.....	168
CAPÍTULO 6.....	169
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	169
6.1. Conclusiones	169
6.2. Recomendaciones.....	171
BIBLIOGRAFÍA	172
CITAS DE INTERNET	174
ANEXOS	176

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 1

Tabla 1.1 Composición y característica de algunos vidrios comerciales comunes. . .	48
--	----

Capítulo 3

Tabla 3.1 Especificaciones técnicas horno eléctrico	76
Tabla 3.2 Tabla de formulación de alternativas para el módulo 1	89
Tabla 3.3 Matriz de valoraciones.....	91
Tabla 3.4 Tabla de valoración de soluciones frente a la estabilidad	91
Tabla 3.5 Tabla de valoración de soluciones frente a la facilidad de construcción ...	91
Tabla 3.6 Tabla de valoración de soluciones frente al costo	92
Tabla 3.7 Tabla de conclusión para el módulo 1	92
Tabla 3.8 Tabla de formulación de alternativas para el módulo 2	95
Tabla 3.9 Matriz de valoraciones.....	97
Tabla 3.10 Tabla de valoración de soluciones frente a la estabilidad térmica.....	97
Tabla 3.11 Tabla de valoración de soluciones frente al costo	97
Tabla 3.12 Tabla de conclusión para el módulo 2	98
Tabla 3.13 Tabla de formulación de alternativas para el módulo 4	105
Tabla 3.14 Matriz de valoraciones.....	107
Tabla 3.15 Tabla de valoración de soluciones frente a la facilidad de manejo.....	108
Tabla 3.16 Tabla de valoración de soluciones frente a la facilidad de construcción.	108
Tabla 3.17 Tabla de valoración de soluciones frente al costo.....	108
Tabla 3.18 Tabla de valoración de soluciones frente a la estética e innovación.	108
Tabla 3.19 Tabla de conclusión para el módulo 4.....	109

Capítulo 4

Tabla 4.1 Masa estándar de pavos de acuerdo a las razas en estado adulto.....	111
Tabla 4.2 Datos iniciales para el cálculo de la bandeja del horno	111
Tabla 4.3 Constantes β y γ para placas simplemente apoyadas en sus bordes.....	113
Tabla 4.4 Condiciones iniciales para el cálculo de la dilatación térmica de la bandeja	115
Tabla 4.5 Comparación de resultados obtenidos	117
Tabla 4.6 Dimensiones del alimento a hornear.	120
Tabla 4.7 Calculo de caudal.	121
Tabla 4.8 Propiedades químicas de un pastel.....	122
Tabla 4.9 Propiedades del acero AISI 304 y condiciones iniciales en la cámara del horno	123

Tabla 4.10 Propiedades del aire a $T_i = 250$ °C, en la cámara del horno	123
Tabla 4.11 Propiedades del aire a $T_f = 135$ °C, en la cámara del horno	124
Tabla 4.12 Calor por convección forzada en función de la velocidad del aire en el horno	125
Tabla 4.13 Propiedades de un pastel y datos de preparación	127
Tabla 4.14 Propiedades de bandeja acero inoxidable AISI 304	128
Tabla 4.15 Propiedades iniciales para calcular la masa del aire en la cámara	129
Tabla 4.16. Propiedades para el cálculo del calor requerido para el calentar el aire de la cámara.....	129
Tabla 4.17 Propiedades del acero AISI 430 y condiciones iniciales para la radiación	130
Tabla 4.18 Propiedades del vidrio y condiciones iniciales para la radiación	131
Tabla 4.19 Propiedades del aire a $T_f = 30$ °C, en la cámara del horno	132
Tabla 4.20 Pérdidas de calor por convección a través de las paredes del horno....	133
Tabla 4.21 Propiedades químicas de un pastel.....	134
Tabla 4.22. Propiedades químicas de un pastel, concentración de azúcar.....	134
Tabla 4.23. Propiedades de la fibra de vidrio y condiciones de borde.	136
Tabla 4.24. Propiedades del aire a $T_f = 167,5$ °C en la superficie exterior del vidrio de la puerta	137
Tabla 4.25. Resumen de valores del balance de energía	139

Capítulo 5

Tabla 5.1. Inversión inicial de máquinas y herramientas.....	154
Tabla 5.2. Cuadro de inversiones para la vida útil del proyecto.	155
Tabla 5.3. Costos de materia prima y materiales directos.....	156
Tabla 5.4. Tabla inflación 2005 – 2015.	157
Tabla 5.5. Tabla proyección inflación 2017 -2021	158
Tabla 5.6. Tabla sueldos 2012 – 2016	159
Tabla 5.7. Tabla proyección de sueldos 2017 – 2021	160
Tabla 5.8. Costos directos para la vida útil del proyecto.	160
Tabla 5.9. Asignación de personal y salarios directos.....	161
Tabla 5.10. Costo de sueldos directos para los años de vida del proyecto.	161
Tabla 5.11. Asignación de personal y salarios administrativos.	162
Tabla 5.12. Costo de sueldos administrativos para los años de vida del proyecto..	162
Tabla 5.13. Asignación de personal y salarios en ventas.....	163
Tabla 5.14. Costo de sueldos por ventas para los años de vida del proyecto.	163
Tabla 5.15. Calculo de la depreciación.	164
Tabla 5.16. Tabla de ingresos para los 3 primeros años de vida.	165
Tabla 5.17. Tabla de ingresos para los 3 últimos años de vida.....	165
Tabla 5.18. Flujo de efectivo.	166
Tabla 5.19. Relación beneficio costo.....	167
Tabla 5.20. Tiempo de recuperación de capital y rentabilidad	168

Tabla 5.21. Indicadores de rentabilidad	168
---	-----

Anexos

Tabla H. 1. Localización	189
Tabla H. 2. Vehículos	189
Tabla H. 3. Muebles de oficina	189
Tabla H. 4. Equipos de computación.....	190
Tabla H. 5. Gastos previos a la producción.....	190

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1.1. Horno Continuo	24
Figura 1.2. Horno Semicontinuo.....	25
Figura 1.3. Cámara de Calentamiento	27
Figura 1.4. Recubrimiento aislante.....	29
Figura 1.5. Soldadura de terminales y resistencias.....	34
Figura 1.6. Esquema de regulación de un horno.....	35
Figura 1.7. Termopar.....	36
Figura 1.8. Elementos de sondas de resistencias de platino.....	38
Figura 1.9. Panel de control	39
Figura 1.10. Interruptor de volquete	40
Figura 1.11. Pulsador	40
Figura 1.12. Modelo de contactor.....	41
Figura 1.13. Configuración típica de sendos rodets	43
Figura 1.14. Ventiladores centrífugos de álabes curvados hacia delante, radiales y curvados hacia atrás.	44
Figura 1.15. Ventilador axial helicoidal.....	44
Figura 1.16. Ventilador centrífugo de flujo axial	45
Figura 1.17. Modelo del bastidor de un horno convencional	46
Figura 1.18. Bandejas para horno	50

Capítulo 2

Figura 2.1. Diagrama Esfuerzo - Deformación para un acero estructural típico	52
Figura 2.2. Placa delgada	53
Figura 2.3. Esfuerzos generados en plagas delgadas rectangulares.....	53
Figura 2.4. Convección forzada.....	63
Figura 2.5. Convección libre o Natural	66
Figura 2.6. Placa horizontal (superficie superior)	68
Figura 2.7. Placa horizontal (superficie superior)	69
Figura 2.8. Convección natural en espacios cerrados.....	70
Figura 2.9. Geometría mallada en elementos finitos	72
Figura 2.10. Tipos de mallado en diferentes geometrías.	73
Figura 2.11. Simulación de un engranaje.....	73

Capítulo 3

Figura 3.1. Función Estructura Nivel 0 y 1	77
Figura 3.2. Función Estructura Nivel 2	77
Figura 3.3. Módulos de un horno eléctrico	80

Figura 3.4. Puerta de horno con mecanismo de apertura de arriba abajo, renderizado y diseño	82
Figura 3.5. Puerta de horno - carro extraíble renderizado y diseño	83
Figura 3.6. Bandeja de horno renderizado y diseño	84
Figura 3.7. Sujetador de bandejas - Cámara de cocción renderizado y diseño	85
Figura 3.8. Sujetador de bandejas – Puerta del horno	86
Figura 3.9. Cámara de cocción con sujetadores	87
Figura 3.10. Cámara de cocción lisa	88
Figura 3.11. Alternativa 1 de horno eléctrico doméstico.....	90
Figura 3.12. Alternativa 2 de horno eléctrico doméstico.....	90
Figura 3.13. Resistencia eléctrica para horno	93
Figura 3.14. Lana de vidrio.....	94
Figura 3.15. Alternativa 1 de horno eléctrico doméstico.....	96
Figura 3.16. Alternativa 1 de horno eléctrico doméstico.....	96
Figura 3.17. Ventilador con alabes rectos	99
Figura 3.18. Tarjeta Mega arduino	100
Figura 3.19. Termistores	100
Figura 3.20. Termocupla tipo k de 0 a 400 °C	101
Figura 3.21. Perillas de encendido manual	102
Figura 3.22. Panel digital.....	103
Figura 3.23. Cables Para Protoboard O Arduino Electrónica	104
Figura 3.24. Conductores eléctricos.....	104
Figura 3.25. Panel de control digital	106
Figura 3.26. Panel de control con perillas	106

Capítulo 4

Figura 4.1. Dimensiones para el diseño del horno eléctrico.....	110
Figura 4.2. Bandeja y placa delgada simplemente apoyada en sus cuatro lados ..	112
Figura 4.3. Bandeja apoyada en las paredes del horno	115
Figura 4.4. Deflexión de la bandeja.....	116
Figura 4.5. Tensiones generadas en la bandeja	116
Figura 4.6. Deflexión máxima en paredes	117
Figura 4.7. Esfuerzo máximo producido en paredes	118
Figura 4.8. Volumen de control, para hacer el balance de energía	119
Figura 4.9. Modelo de horno eléctrico utilizado para la simulación de transferencia de calor y CFD	138
Figura 4.10. Temperatura superficial del pastel con a) convección forzada y b) convección natural	141
Figura 4.11. Campo de temperatura y b) distribución de velocidad en el plano vista lateral 0 [m].....	141
Figura 4.12. Campo de temperatura y b) distribución de velocidad en el plano vista planta 0 [m].....	142

Figura 4.13. Croquis trazados en el centro de cada pared del horno.....	142
Figura 4.14. Bombilla para horno.	144
Figura 4.15. Portalámparas para horno.....	145
Figura 4.16. Vidrios sujetos a marco de la puerta	147
Figura 4.17. Pegamento de vidrio para horno	147
Figura 4.18. Sello de horno	148

Capítulo 5

Figura 5.1. Estratos económicos de Ecuador.....	150
Figura 5.2. Partida nandina de importaciones de hornos de resistencia del año 2012	151
Figura 5.3. Partida nandina de importaciones de hornos de resistencia del año 2013	151
Figura 5.4. Distribución de las máquinas y herramientas en la planta de producción.	153

Anexos

Figura G. 1. Temperatura superficial del pastel con convección forzada	186
Figura G. 2. Temperatura superficial del pastel con convección natural	186
Figura G. 3. Temperatura en la superficie exterior del horno	187
Figura G. 4. Distribución de temperatura en el plano vista lateral 0 [m]	187
Figura G. 5. Combinación óptima entre rejilla y ventilador para uniformizar la temperatura del aire	188
Figura G. 6. Combinación óptima entre rejilla y ventilador para alcanzar la velocidad esperada del aire.....	188

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Capítulo 4

Gráfico 4.1. Curvas de calor por radiación, convección natural y forzada.....	126
Gráfico 4.2. Porcentaje de las potencias de a) Entrada y b) Salida, en el horno eléctrico doméstico.....	140
Gráfico 4.3. Distribución de temperatura a través de cada disposición de pared...	143

Capítulo 5

Gráfico 5.1. Gráfica inflación 2005 – 2015	158
Gráfico 5.2. Grafica sueldos 2012 – 2016.....	159

ANEXOS

Anexo A. Casa de la calidad	177
Anexo B. Propiedades del acero AISI 304	178
Anexo C. Valores de las constantes β y γ	179
Anexo D. Ventiladores para hornos marca AACO Manufacturing	180
Anexo E. Catálogo ELCOM.....	182
Anexo F. Propiedades de la fibra de vidrio.....	185
Anexo G. Resultados de la simulación de transferencia de calor y CFD	186
Anexo H. Costos de Inversión	189
Anexo I. Costos de un proyecto de inversión.	191
Anexo J. Pérdidas y ganancias	193
Anexo K. Manual de uso y mantenimiento horno eléctrico.....	194
Anexo L. Plano de conjunto y planos de taller.....	199

RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo diseñar y simular un horno eléctrico doméstico con convección forzada, que trabaja en un rango de temperatura de 50 [°C] a 250 [°C], el estudio se realiza en estado estable y con control digital.

Este proyecto nace debido al cambio en la matriz energética que plantea el gobierno ecuatoriano, pues se pretende cambiar las cocinas a gas por cocinas de inducción, lo que crea la necesidad de cambiar el horno convencional de gas por un horno eléctrico.

Para poder llevar a cabo el diseño de este equipo es necesario tener claro los conceptos básicos de un horno, sus partes y su funcionamiento, esta información se detalla en el capítulo 1.

En el capítulo 2 se describe la teoría para el diseño estructural y los procesos físicos y químicos que se involucran en la transferencia de calor que se presenta en la cocción de alimentos.

El diseño conceptual se detalla en el capítulo 3, donde se elabora la casa de la calidad para poder transformar los requerimientos del usuario en especificaciones técnicas e iniciar el diseño conceptual, que abarca la definición modular y a través del método de criterios corregidos, la selección de las alternativas de diseño.

En el capítulo 4, se muestran los cálculos realizados para el dimensionamiento del horno, se inicia con la selección del espesor mínimo requerido de chapa metálica, para que soporte una masa de 15 [Kg], con el fin de que no sufra deformaciones permanentes en su estructura. Seguido del cálculo de transferencia de calor, donde se realiza un balance de energías para determinar con mayor precisión la cantidad de energía que se requiere para la cocción de una masa, en donde se encuentran reacciones químicas complejas de fermentación, evaporación de alcoholes y gelatinización; también se realiza la selección del ventilador lo que hará que el horno sea energéticamente eficiente. También se presentan el cálculo del espesor mínimo de aislante térmico necesario para que el equipo sea seguro de manipular; estos

valores son respaldados con la simulación por elementos finitos realizados en el software Solidworks.

Los elementos complementarios como los botones de encendido, partes eléctricas y electrónicas, se detallan al final del capítulo 4.

El análisis financiero de la fabricación de hornos se encuentra detallado en el capítulo 5, donde se determina la demanda de hornos eléctricos en Ecuador; y el estudio de inversión que se requiere para una producción anual de 2880 hornos.

En el capítulo 6 se detallan las conclusiones y recomendaciones obtenidas del presente trabajo.

El manual de uso y los planos de conjunto y de detalle se muestran en los anexos.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento poblacional en el mundo, genera nuevas demandas de recursos, uno de ellos y entre los más importantes tenemos la energía, pues es un recurso vital para el desarrollo humano, tecnológico, industrial y económico.

En la actualidad uno de los factores que determina la verdadera emancipación entre países es la independencia energética, basándose en esto y en frenar el deterioro ambiental, Ecuador se proyecta hacia un cambio prometedor en su matriz energética; pues se espera que para finales del 2016 se generará alrededor de 6779 MW, es decir, que se duplicará la generación actual en cuanto energía hidroeléctrica se refiere, lo que propone una cantidad suficiente para el consumo nacional.

Una de las razones para promover el cambio en la matriz energética en Ecuador es disminuir el consumo de energía comprada; en el 2013 el 88% de GLP (Gas Licuado de Petróleo) provenía de importaciones (El Telégrafo , 2013), el mismo que desde 1955 ha sido utilizado en su gran mayoría para uso doméstico, con el fin de poder disminuir el rubro de importaciones de este combustible, en Ecuador se plantea una revolución que trata de implementar el uso de la energía eléctrica para la cocción en los hogares, es decir que luego de décadas se dejará de lado la tradicional cocina doméstica que usa GLP como energía, para dar paso a la cocina de Inducción y en general a los electrodomésticos que funcionan a base de energía eléctrica.

Para dar paso a este cambio en el uso de una nueva forma de energía para el consumo doméstico en cuanto a cocción de alimentos, se puede ver que en el mercado actual ya se promocionan varios modelos de cocinas de inducción en su gran mayoría sin una cámara para hornear alimentos. Esto genera varios inconvenientes, uno de los mayores problemas es cultural, ya que si bien el ser humano es susceptible a cambios

necesita tiempo para adaptarse; uno de los tópicos más importante que sustenta la cultura de un país es la alimentación, en Ecuador muchos de los alimentos consumidos son horneados.

Actualmente una cámara de horneado conocida normalmente como horno, es utilizada más frecuentemente en la cocina, debido a la facilidad que brinda para elaborar una gran variedad de platos de sal, de dulces y en su mayoría saludables.

Pero en Ecuador los hornos no son solamente utensilios de la cocina cotidiana, sino también son parte de la tradición y cultura, ya que muchas de las comidas de las festividades típicas del país son horneadas, un claro ejemplo es el pan en el día de los difuntos; es por esta razón que en muchos hogares se encuentra esta clase de equipos, que normalmente son hornos que funcionan con GLP como combustible.

Este cambio en este tipo de electrodomésticos, sin duda traerá muchas ventajas energéticas y reducción de subsidios para el país, pero genera también, conflictos económicos dentro de la ciudadanía ya que estos equipos son ensamblados en Ecuador con la mayor partes de piezas importadas lo que encarece al producto, al tener la mayor parte de accesorios de procedencia extranjera puede generar una dificultad en el uso y en la disponibilidad de piezas, pues el equipo no necesariamente podría tener indicaciones en español, además de que el mantenimiento no siempre podría llegar a ser viable.

En el presente trabajo se plantea dar solución a varios de estos conflictos mediante la realización del diseño de un horno eléctrico doméstico, donde la mayor parte de piezas sean ecuatorianas, que cumpla con las necesidades y requerimientos de la sociedad y se apegue a los cambios propuestos en la matriz energética del país

1.2. DEFINICIONES

1.2.1. Horno

Un horno es un dispositivo que genera calor y lo conserva dentro de un compartimiento cerrado, se utiliza para cocción de alimentos y en el sector industrial, su fuente de

energía puede ser directa donde dependerá del combustible que se utiliza o indirecta donde su alimentación será eléctrica.

1.2.2. Clasificación

Debido al innumerable uso que se les dan a los hornos existen varias clasificaciones, tratando de incluir el mayor número de hornos se los estudiará por su tipo de operación, su uso, el tipo de combustible, el tipo de mando y su ubicación en la cocina.

1.2.2.1. Por su Tipo de Operación

Sin tomar en cuenta el tipo de energía que un horno consume, se los puede clasificar en continuos, semicontinuos e intermitentes.

- Continuos: dentro de esta clasificación están los hornos tipo túnel, rotatorios y los reactores en lecho fluidizado, su mayor característica es que la temperatura tiene una relación de dependencia con la distancia a la que se encuentre el cuerpo de cocción. En la figura 1.1 se muestra un ejemplo de horno continuo.

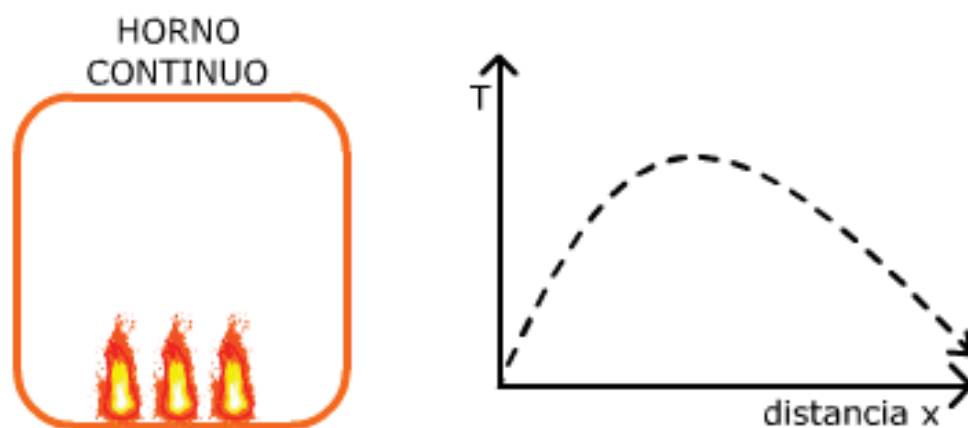


Figura 1.1. Horno Continuo

Fuente: Hornos. (s.f.). Recuperado el 07 agosto del 2015, de <http://www.si3ea.gov.co/Eure/9/inicio.html>.

- Semicontinuos: Aquí podemos encontrar hornos donde la carga es estática, pero el quemador viaja a todas las zonas del horno, el más común es el horno Hoffman, el más común en la industria ladrillera. En esta clasificación la

temperatura y el tiempo tienen una dependencia parabólica como se muestra en la figura 1.2.

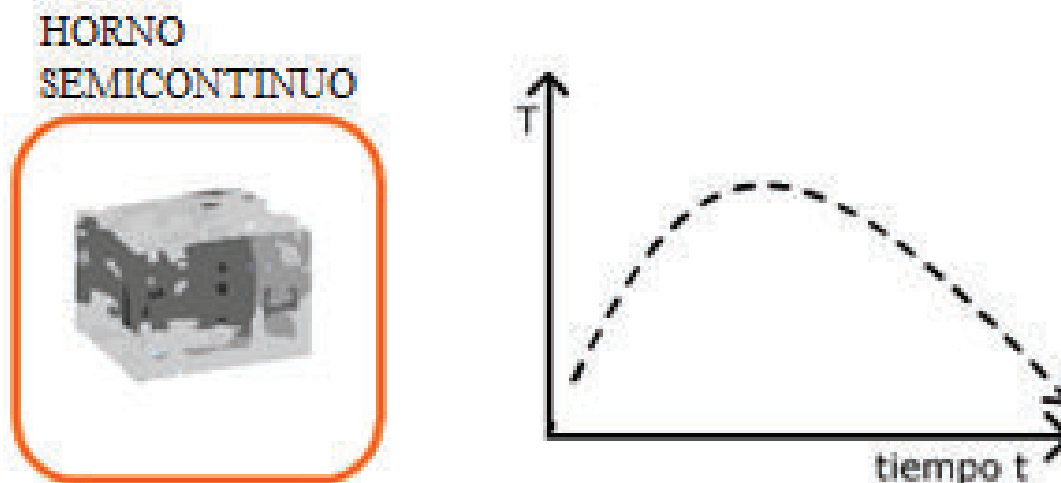


Figura 1.2. Horno Semicontinuo

Fuente: Hornos. (s.f.). Recuperado el 07 agosto del 2015, de <http://www.si3ea.gov.co/Eure/9/inicio.html>.

- Intermitentes: Estos equipos son muy poco comunes debido a su baja eficiencia energética, se caracterizan por ser necesario repetir la colocación de las piezas, el encendido y el vaciado.

1.2.2.2. Por su uso

- Industrial: Son equipos o dispositivos utilizados en la industria, en los que se calientan piezas por encima de la temperatura ambiente, con el objeto de fundir, realizar tratamientos térmicos, secados y varias funciones semejantes.
- Doméstico: Se entiende por horno doméstico a los equipos o dispositivos utilizados en el hogar para cocer, asar, dorar o tostar alimentos mediante la generación de calor que se mantiene dentro de un compartimento cerrado.

1.2.2.3. Por el tipo de calentamiento

- Por llamas: Este equipo se caracteriza por funcionar bajo combustibles sólidos, líquidos o gaseosos; donde la pieza puede ser calentada por la conducción de calor entre las partes o por convección, (Hornos Industriales, 2015).

- Eléctrico: Son hornos de alimentación eléctrica, por su facilidad de manejo y comodidad son muy utilizados en el sector industrial y doméstico. Dentro de este grupo encontramos hornos de arco, inducción, resistencias, plasma, haz de electrones y láser.

1.2.2.4. Por el tipo de cocción

- Radiación: Son hornos en donde el calor es entregado bajo el efecto Joule, emitiendo calor por radiación.
- Multifunción: En este grupo encontramos que su comportamiento es versátil, el equipo puede funcionar por radiación, conducción o convección.
- Microondas: Son equipos que funcionan mediante la generación de ondas electromagnéticas en la frecuencia de las microondas en torno a los 2.5GHz, (Campos electromagnéticos & salud pública: Hornos microondas, 2015).
- Inducción: Horno en donde el calentamiento no es por llama ni contacto, su funcionamiento se basa en transformar la energía electromagnética en calórica, esta energía se genera gracias a la alta circulación de corriente alterna.

1.2.2.5. Por la ubicación en la cocina:

- Combinado con placa de cocción: Equipo culinario que se encuentra adherido a una placa de cocción (cocina), se encuentra ubicado en la parte inferior de la placa y separado por una gruesa capa de aislante térmico.
- Independiente: Equipo culinario, que permite la cocción de alimentos a temperaturas graduables, generalmente empotrados a la pared y soportados en muebles de cocina.

1.2.3. Partes de un horno

En este apartado se trata las partes de un horno eléctrico por ser el centro de nuestro trabajo. Dentro de las principales partes que conforman un horno eléctrico tenemos: una cámara de calentamiento, elementos eléctricos, revestimiento aislante, panel de control y el bastidor.

1.2.3.1. Cámara de calentamiento

Es el espacio físico interno en donde se realiza la cocción de los alimentos, el cual debe brindar el confort y confianza que el usuario requiere para el funcionamiento del equipo, este espacio debe ser funcional para la colocación de bandejas, parrillas y todo utensilio para hornear, además que debe ser elaborado de un material adecuado para evitar la contaminación de los alimentos, debe contar con los vaciados y ranurados necesarios para que fluya eficientemente el flujo de calor, en la figura 1.3 se observa un ejemplo de una cámara de calentamiento.



Figura 1.3. Cámara de Calentamiento

Fuente: Hornos eléctricos. (s.f.). Recuperado el 09 agosto del 2015, de <http://www.haier.cl/web/?cat=22>

Los materiales más usados para las cámaras de calentamiento en electrodomésticos y la industria alimenticia son aceros inoxidable austeníticos de las series 2XX y 3XX, donde los más recomendados son el 301, 302, 302 B o 304. Una de las cualidades más importantes de estos materiales es que sus propiedades mecánicas se mantienen a altas temperaturas (700-1100 °C), (Avner, 1988) y se puede trabajar en frío o en

caliente, esta propiedad nos garantiza que el material se lo podrá deformar sin mayor complicación para la fabricación y que no contaminará los alimentos en su cocción.

En el caso de que el horno tenga un sistema de auto limpieza donde la temperatura sea superior a los 350 °C el material de la cámara no sufrirá transformaciones en su estructura cristalina, (Avner, 1988).

1.2.3.2. Revestimiento Aislante

Durante el proceso de cocción existe un intercambio energético entre el sistema eléctrico y el cuerpo de cocción, para lo cual se usa un revestimiento aislante con la finalidad de evitar la pérdida de calor al medio.

Un aislante térmico es un material cuya conductividad térmica es igual a la mitad del material denso de la misma composición lo que corresponde a una porosidad no inferior al 45 por 100, (Astigarraga Urquiza, 1994); es decir que mientras más baja sea la conductividad térmica tendremos un mejor aislante térmico, en la figura 1.4 se observa un ejemplo de recubrimiento aislante de un horno.

Una de las principales propiedades térmicas de estos materiales es conseguir las condiciones ambientales aceptables en el exterior, permitiendo que el bastidor del horno sea manipulado por el usuario de forma segura, sin causar ningún tipo de quemadura.

Según la norma NTE INEN 2 259:2000 (Artefactos de uso doméstico para cocinar, que utilizan combustibles gaseosos. Requisitos e inspección., 2000), en el apartado 7.1.9.4 a.2 indica que “La temperatura exterior de la cara frontal (incluido el vidrio de la puerta del horno) y los costados del artefacto no debe sobrepasar la temperatura ambiente en más de 100°C, excepto que se permiten puntos que tengan una superficie igual o menor que 1 cm², siempre que no sean agujeros.”, (Astigarraga Urquiza, 1994).



Figura 1.4. Recubrimiento aislante

Fuente: El aislamiento térmico en hornos industriales. (Julio 2010). Recuperado el 10 agosto del 2015, de <http://www.quiminet.com/articulos/el-aislamiento-termico-en-hornos-industriales-43616.htm>

A los aislantes térmicos se los clasifica de acuerdo a la temperatura máxima de trabajo, existe una clasificación extensa entre los que tenemos:

- Productos refractarios densos.
- Productos refractarios aislantes.
- Productos aislantes no refractarios.
- Productos calorífugos.
- Fibras cerámicas.

A continuación, se detalla las características más importantes de cada uno de los aislantes.

Productos refractarios densos: Esta clase de materiales se caracteriza por trabajar a elevadas temperaturas, de este material no se ha determinado el punto de fusión, pero su resistencia pirosfópica suele ser mayor a los 1500°C. Dentro de esta clasificación encontramos varios tipos de refractarios dependiendo de la composición

química de los mismos como refractarios aluminosos, siliciosos, productos básicos de magnesita, cromita y dolomita entre otros.

Productos refractarios aislantes: Se los divide en dos grandes grupos los aislantes refractarios de forma y hormigones refractarios aislantes.

- Aislantes refractarios de forma: Para que esté dentro de esta clasificación debe tener una resistencia pirosfópica mayor a 1500°C y una baja conductividad térmica.
- Hormigones refractarios aislantes: Este material posee una baja resistencia mecánica y baja conductividad térmica.

Productos aislantes no refractarios: Una de las características típicas de estos materiales es que no trabajan con temperaturas superiores a los 1000 °C. En este grupo encontramos muchos materiales, pero se describen los más importantes.

- La sílice fósil o diatomita: Es conocida como harina fósil, harina de sílice, etc., este material se lo utiliza de mejor manera en forma de polvo y se forma borras y mantas aislantes en forma de ladrillos y poseen una baja conductividad térmica.
- Carbonato de Magnesio: Este material es un polvo ligero que bajo esta condición presenta una gran capacidad aislante, pero se descompone a partir de los 300 °C lo que limita su temperatura de empleo.
- Lanas minerales: Dentro de esa sub clasificación encontramos materiales que proviene de vidrio fundido, rocas naturales fundidas y de escorias metalúrgicas, estos aislantes pueden soportar elevadas temperaturas (700 °C), son muy resistentes a la corrosión química y son aislantes acústicos. En los últimos años estos materiales han mejorado notablemente se fabrican en forma de fibras o de lanas con un alto contenido de sílice.
- Vermiculita: Este material es muy parecido a una mica, sin embargo, el efecto de deshidratación a una temperatura moderada se hincha en 20 o 30 veces su tamaño normal, dejando entre láminas un colchón de aire,

permitiendo que el calor se quede encerrado. Al contacto directo con el fuego se funde limitándose así a trabajar a temperaturas menores a 500°C.

- Arcilla y perlita expandidas: Este material también se presenta en forma de polvo, siendo muy útil para rellenos o para fabricar aglomerados, este material puede trabajar hasta los 800 °C.
- Silicato Cálcico: Este material se presenta en placas y coquillas rígidas en diferentes espesores, con una temperatura máxima de trabajo 1100 °C, se lo utiliza como segunda capa de aislante en horno que está en contacto directo con la llama, pues no puede trabajar en contacto directo con el fuego.

Productos Caloríficos: Una de las características típicas de estos materiales es que no trabajan con temperaturas bajas en un rango de 100 a 150 °C, se presentan en forma de polvo, gránulos, borras, cortones, placas, coquillas y piezas moldeadas; en hornos eléctricos su utilización es nula.

Fibras cerámicas de alta temperatura: Estos materiales gracias a su desarrollo se los utiliza como cara caliente y soporta temperaturas de hasta 1500°C. Estos aislantes son elaborados en base de alúmina y zirconia, el vertido de lo realiza por soplado con aire comprimido ayudando a la formación de fibras más largas y menos polvo.

Según la temperatura de funcionamiento se han definida varios tipos de recubrimientos aislantes, pero existen varios factores que nos ayuden a determinar el mejor material según el campo de aplicación.

Uno de los factores claves para poder seleccionar un tipo aislante es conocer su coeficiente de conductividad térmica el mismo que debe ser menor de 0.1 W/m²·K medido a 23°C para que sea considerado como un buen recubrimiento aislante.

1.2.3.3. Elementos eléctricos

El sistema eléctrico de un horno va en conjunto con el panel de control del horno, pues a través del controlador se determinará las funciones eléctricas que desea que cumpla el horno.

Este sistema está formado por los dispositivos que transforman la energía eléctrica en energía calórica que en este caso serán resistencias, elementos para transportar energía eléctrica es decir el cableado, la fuente energética para el buen funcionamiento del trabajo del horno, entre otros elementos.

Resistencias

En general en un horno eléctrico doméstico la cocción de los alimentos se produce por radiación, convección y conducción como ya se definió anteriormente, pero estos fenómenos se producen por el calor que generan las resistencias eléctricas, estas resistencias son llamadas como resistencias de calentamiento indirecto, (Astigarraga Urquiza, 1994) y se clasifican en:

- Metálicas
- No metálicas
- Tubos radiantes
- Resistencias blindadas

Resistencias Metálicas

Los materiales empleados para la fabricación de resistencias metálicas se pueden clasificar en tres grupos:

- Aleaciones de base Ni-Cr.
- Aleaciones Fe-Cr-Al
- Otros materiales como molibdeno, tántalo y tungsteno.

Aleaciones de base Ni-Cr

Aunque varían ligeramente entre fabricantes, entre las más representativas se tiene:

- 80 Ni – 20 Cr
- 70 Ni – 30 Cr
- 60 Ni – 15 Cr – 20 Fe
- 37 Ni – 18 Cr – 40 Fe denominada 40 Ni – 20 Cr
- 30 Ni – 20 Cr – 45 Fe

- 20 Ni – 25 Cr – 50 Fe

La conductividad térmica de las aleaciones Ni-Cr tienen la característica, que, al aumentar la temperatura, aumenta su conductividad térmica.

Aleaciones Fe-Cr-Al

Para este tipo de aleaciones la variación entre fabricantes es aún mayor que en las aleaciones Ni-Cr, las comunes en el mercado son las siguientes:

- 22/25 Cr – 6 Al – 70 Fe
- 20/22 Cr – 5 Al – 72 Fe
- 20/22 Cr – 4,5 Al – 73 Fe
- 14 Cr – 4 Al – 80 Fe

Otros materiales metálicos

Se utilizan en hornos especiales de alta temperatura, resistencias de molibdeno, tántalo y tungsteno. Como característica especial el molibdeno tiene un punto de fusión de 2600 °C, y admite cargas específicas de 15 – 20 W/m².

El tántalo por otra parte tiene un punto de fusión de 3030 °C, y se usa principalmente en hornos de vacío en forma de hilos arrollados hasta temperaturas de 2400 °C, mientras que con el molibdeno se puede alcanzar temperaturas de hasta 2700 °C.

Terminales y conexiones

Las terminales tienen por objeto realizar la unión eléctrica y mecánica entre las resistencias del interior del horno y los cables eléctricos de conexión en el exterior.

Las funciones que se deben realizar son las siguientes:

- Paso de la corriente eléctrica a través del aislamiento térmico del horno, consiguiendo el suficiente aislamiento eléctrico.
- Unión eléctrica y mecánica con las resistencias del horno y por tanto sometida a la temperatura de las resistencias.
- Unión eléctrica con los cables o barras de alimentación en el exterior del horno.

En general los terminales para resistencias de alambre son redondas, pero para resistencias de pletina pueden ser redondos o rectangulares, en lo posible los terminales deben ser grandes para reducir las pérdidas por efecto Joule, pero hay que tener en consideración que las secciones grandes generan mayores pérdidas de calor por efecto de puente térmico, en la figura 1.5 se pueden observar varios terminales y la soldadura que es permitida entre estos.

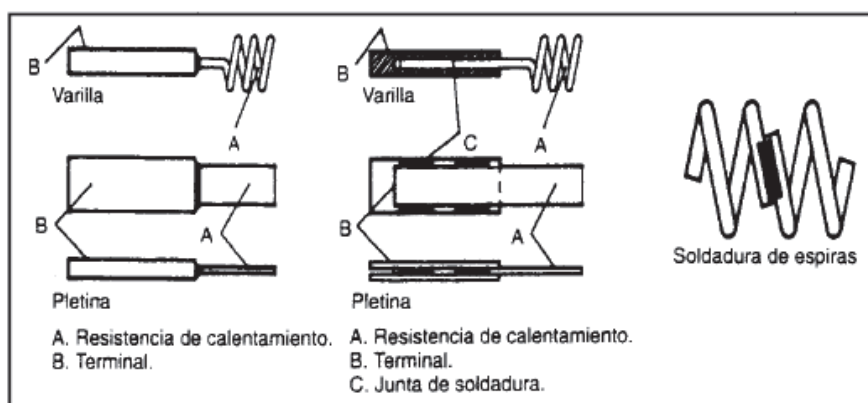


Figura 1.5. Soldadura de terminales y resistencias

Fuente: Astigarraga Urquiza, J. (1994). *Hornos industriales de resistencias*. Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill.

La caída de tensión en el terminal generalmente es de 0,10 a 0,20 voltios en resistencias de pletina de 220 voltios, lo que se puede considerar como despreciable, (Astigarraga Urquiza, 1994).

Regulación de temperatura

Tomando en consideración que la medición y control de la temperatura es fundamental en este tipo de máquinas, se debe entender que hay tres elementos fundamentales para la regulación de la misma:

- Detector
- Aparato de medición y control
- Aparatos de regulación

En la figura 1.6 se puede observar un esquema que muestra la regulación de un horno.

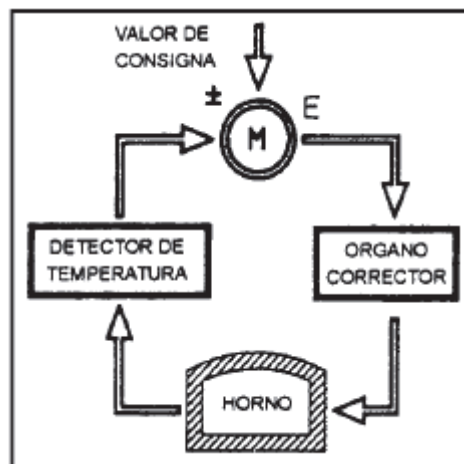


Figura 1.6. Esquema de regulación de un horno

Fuente: Astigarraga Urquiza, J. (1994). *Hornos industriales de resistencias*. Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill.

Los detectores pueden ser:

- Termómetros de dilatación
- Termómetros de resistencia eléctrica
- Termopares
- Lunetas de radiación
- Otros tipos (Seeger, lápices, etc.)

Termopares

Los termopares que se muestran en la figura 1.7, juegan un papel importante, pues son los encargados de medir la temperatura, mediante la circulación de una corriente en un circuito cerrado, formado por dos metales diferentes y cuyas uniones se encuentran a diferentes temperaturas, en estas condiciones existe entre sus extremos una diferencia de potencial llamada fuerza electromotriz termoeléctrica, (Creus, 2010)

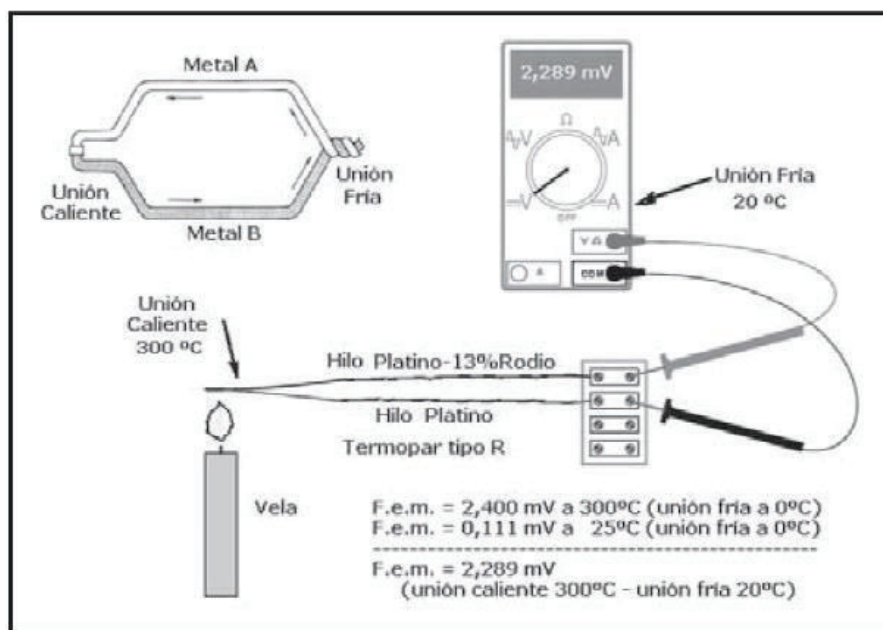


Figura 1.7. Termopar

Fuente: Creus, A. (2010). Instrumentación Industrial. México: McGraw-Hill.

Los termopares más comunes son según (Creus, 2010):

- Termopar tipo E de Níquel-Cromo (Cromel) / Cobre-Níquel (Constantán): puede usarse en vacío o en atmósfera inerte, es adecuado para temperaturas entre -200 y +900 °C.
- Termopar tipo T de Cobre / Cobre-Níquel (Constantán): tiene una elevada resistencia a la corrosión por humedad atmosférica o condensación y puede utilizarse en atmósferas oxidantes o reductoras, su rango de temperatura es de -200 a 260 °C.
- Termopar tipo J de Hierro / Cobre-Níquel (Constantán): es adecuado para atmósferas inertes y para temperaturas entre -200 a 1200 °C.
- Termopar tipo K de Níquel-Cromo (Cromel) / Níquel-Aluminio (Alumel): se recomienda en atmósferas oxidantes y a temperaturas de trabajo entre 500 y 1250 °C, no se debe usar en atmósferas reductoras ni sulfurosas.
- Termopar tipo R (Platino – 13% Rodio / Platino): se emplea en atmósferas oxidantes y temperaturas de trabajo de hasta 1500 °C.

- Termopar tipo S (Platino – 10% Rodio / Platino): su característica es similar a las del tipo R. Tienen poca sensibilidad ($10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$).
- Tipo B (Platino – 30% Rodio / Platino – 6% Rodio): adecuado para altas temperaturas hasta 1800°C .
- Termopar tipo N (84,6% Níquel – 14% Cromo – 1,4% Silicio) / (95,6% Níquel – 0,4% Silicio): protegido con aislamiento de óxido de berilio y camisa de molibdeno y de tantalio, se emplea en atmósferas inertes o en vacío a las temperaturas de trabajo de 0 a 2316°C .

Otros termopares de uso reciente son según (Creus, 2010):

- Tipo C (Tungsteno - 5% Renio / Tungsteno - 26% Renio) (ASTME 988), con temperaturas de trabajo entre 0°C y 2320°C .
- Tipo D (Tungsteno – 3% Renio / Tungsteno – 25% Renio) (ASTME 988), con temperaturas de trabajo entre 0°C y 2495°C .
- Tipo G (Tungsteno / Tungsteno – 26% Renio), con temperaturas de trabajo de entre 0°C y 2320°C .
- Tipo L (Hierro / Cobre – Níquel) (DIN 43710) similar al tipo J, con temperaturas de trabajo entre -200°C y $+900^\circ\text{C}$.
- Tipo U (Cobre / Cobre – Níquel) (DIN43710), similar al tipo T con temperaturas de trabajo entre -200°C y $+600^\circ\text{C}$.

Termómetros de resistencia

Las resistencias termométricas censan la temperatura por la variación de su resistencia óhmica.

Los materiales que forman el conductor de la resistencia deben tener las siguientes características según (Creus, 2010):

- Alto coeficiente de temperatura de la resistencia.
- Alta resistividad.
- Relación línea resistencia – temperatura.
- Rigidez y ductilidad

- Estabilidad de sus características durante la vida útil.

Las resistencias generalmente son de níquel estas pueden medir hasta 150 °C o de platino, pueden medir hasta 550 °C, (Creus, 2010), en la figura 1.8 se ilustran los elementos de sondas de resistencia de platino.

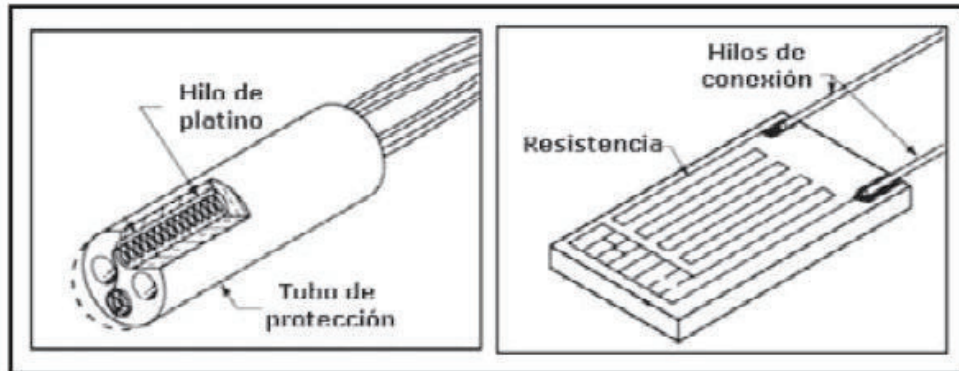


Figura 1.8. Elementos de sondas de resistencias de platino

Fuente: Antonio Creus, (2010). *Instrumentación Industrial*. Octava edición, México

Aparatos de regulación

Los aparatos de medición y control se clasifican principalmente en:

- Galvanométricos
- Potenciómetros
- Neumáticos

Los órganos de regulación pueden ser:

- Contactores, válvulas electromagnéticas, tiristores, etc.
- Válvulas motorizadas.
- Válvulas neumáticas.

1.2.3.4. Panel de control

El panel de control es la interfaz directa que permite al usuario controlar la temperatura del equipo. En la figura 1.9 podemos apreciar un ejemplo del panel de control de un horno.



Figura 1.9. Panel de control

Fuente: Dreamstime. (31 de 08 de 2015). Obtenido de <http://es.dreamstime.com/imagen-de-archivo-panel-de-control-del-horno-image24087491>

Los sistemas de control de un horno pueden ser manuales, semiautomáticos o automáticos.

Manuales: Este tipo de control se ejecuta manualmente, en el mismo lugar donde está el equipo; para estos controles debemos utilizar pulsadores, botones o perillas, para efectuar un cambio en el sistema, también usamos válvulas y cualquier tipo de mando de fácil manejo para el hombre.

Existen varias herramientas para ejecutar los controles manuales, en los hornos de llama es clásico el uso de válvulas que permitan el paso del combustible, pero existen varios de estos componentes como el interruptor de volquete, interruptor de seguridad, controlador de tambor, controlador de levas, pulsador, interruptor, selectores giratorios, conmutadores, entre otros de los cuales detallaremos los más importantes.

- *Interruptor de volquete:* Este dispositivo es útil para arrancar motores directamente sin necesidad de utilizar interruptores magnéticos o equipo auxiliar, los motores que

arrancan con este se protegen mediante fusible o cortacircuitos en el circuito derivado, son utilizados generalmente para impulsan ventiladores, sopladores, etc. En la figura 1.10 se ejemplifica al interruptor de volquete.



Figura 1.10. Interruptor de volquete

Fuente: Componentes de control eléctrico. (s.f.). *educarchile*. Recuperado el 31 de agosto de 2015 de www.educarchile.cl

- **Pulsador:** Es un elemento de conmutación por presión manual que permite la interrupción o el paso de corriente mientras es accionado, en la figura 1.11 se ve un ejemplo.

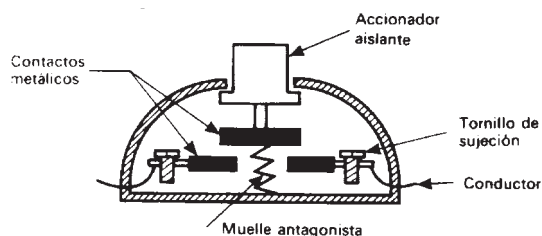


Figura 1.11. Pulsador

Fuente: Componentes de control eléctrico. (s.f.). *educarchile*. Recuperado el 31 de agosto de 2015 de www.educarchile.cl

Semiautomáticos: Son sistemas de accionamiento manual a distancias alejadas de la maquina a controlar, este sistema es utilizados generalmente para cuando el operario no puede estar cerca del equipo sea por seguridad o higiene.

Este sistema al igual que los de control manual requiere de un operario para su funcionamiento, la ventaja de un control semiautomático es que se puede unificar todos los controles del equipo en un solo panel y a una distancia prudente del equipo.

Existen varios dispositivos necesarios en estos sistemas como contactores, relees entre otros.

- **Contactores:** Son dispositivos de conexión accionados por un electroimán, es la unión entre la potencia de la máquina y el panel de control. En la figura 12 podemos apreciar un ejemplar de contactor.

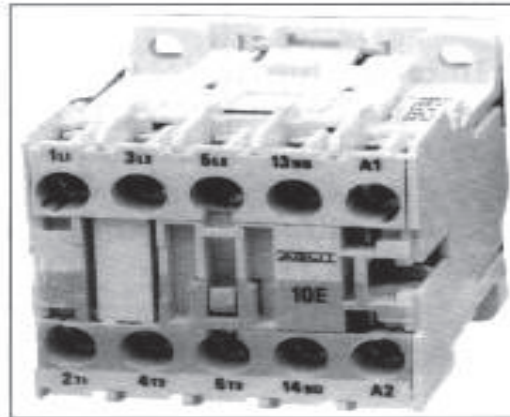


Figura 1.12. Modelo de contactor

Fuente: Componentes de control eléctrico. (s.f.). *educarchile*. Recuperado el 31 de agosto de 2015 de www.educarchile.cl

- **Relé industrial:** Es un tipo de contactor utilizado para los circuitos de control, cumple múltiples funciones tales como: tratamiento de información, selección de circuitos, enclavamientos, seguridad, señalización, etc.

Automáticos: Este sistema está formado por un arrancador electromagnético o contactor controlado por uno o más dispositivos pilotos automáticos. La orden para que se inicie el sistema puede ser automática, aunque suele ser manual mediante pulsadores o interruptores.

1.2.3.5. Ventilador

Un ventilador es una turbomáquina que trabaja impulsando fluidos gaseosos (fluido compresible) al que se le transfiere una potencia mayor con un determinado rendimiento; produciendo una corriente de aire al entrar en contacto con las aspas del ventilador generando así una diferencia de presiones.

Entre sus aplicaciones, destacan las de hacer circular y renovar el aire en un lugar cerrado para proporcionar el suficiente oxígeno al sistema, transferir calor de manera uniforme, principalmente en espacios cerrados.

Se utiliza para desplazar el fluido de un lugar a otro renovando sus propiedades, para ventilación es utilizado para realizar cambios de aire en ambientes con el fin de tener un ambiente más fresco.

Partes de los ventiladores

Las partes principales que conforman un ventilador según (Ventilación , s.f.), son las siguientes:

1. TURBINA: también llamada rueda que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, haciendo que la turbina pueda girar para generar así una diferencia de presiones.
2. CARCAZA: llamada también bastidor, nos permite alojar la turbina y potenciar el intercambio de energía eléctrica a mecánica.
3. FLECHA O EJE: conecta la turbina al motor utilizando un elemento mecánico que ayude a la transmisión de movimiento como poleas, bandas o acoples.
4. RODAMIENTOS: son elementos mecánicos que permiten transmitir el movimiento de rotación desde el eje a la turbina, minimizando las pérdidas por fricción.
5. MOTOR: proporciona la energía suficiente para suministrar aire para el espacio requerido.

Tipos de Ventiladores:

Los ventiladores se clasifican de acuerdo al rango de presión en el que trabajan y según la trayectoria del fluido.

Según el rango de presión:

- Ventiladores de baja presión: Hasta una presión del orden 200 mm columna de agua. (ventiladores propiamente dichos).
- Ventiladores de media presión: Están entre 200 y 800 mm columna de agua (soplantes)

- Ventiladores de alta presión: Trabajan entre 800 y 2500 mm columna de agua (turbosoplantes)
- Ventiladores de muy alta presión: Trabaja con presiones mayores a 2500 mm columna de agua (turbocompresores)

En función de la trayectoria del fluido:

Dentro de esta clasificación podemos encontrar ventiladores de flujo radial o conocidos como centrífugos, de flujo semiaxial o helicoidal - centrífugos y de flujo axial, en la figura 1.13 se observa esta clasificación.

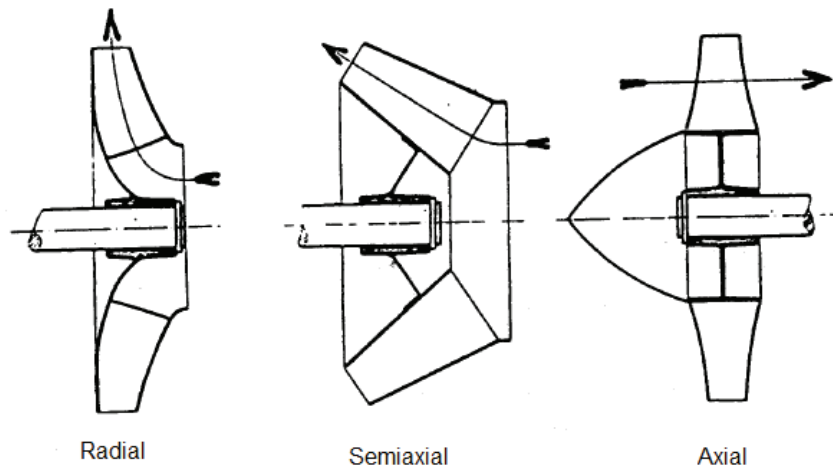


Figura 1.13. Configuración típica de sendos rodetes

Fuente: Ventilación. (s.f.) Recuperado el 31 de agosto de 2015, de <http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-128.htm>

- **Ventiladores Radiales o centrífugos:** En estos ventiladores la trayectoria del fluido sigue la dirección del eje del rodete a la entrada y está perpendicular al mismo a la salida. Estos ventiladores suelen ser silenciosos y de baja velocidad periférica generalmente para sistemas de presión estática baja a media, ideal para calefacción o aire acondicionado y renovación de aire.

En estos ventiladores encontramos 3 tipos que son: álabes curvados hacia adelante, álabes rectos y álabes inclinados hacia atrás o curvados hacia atrás, en la figura 1.14 se aprecia con claridad esta clasificación.

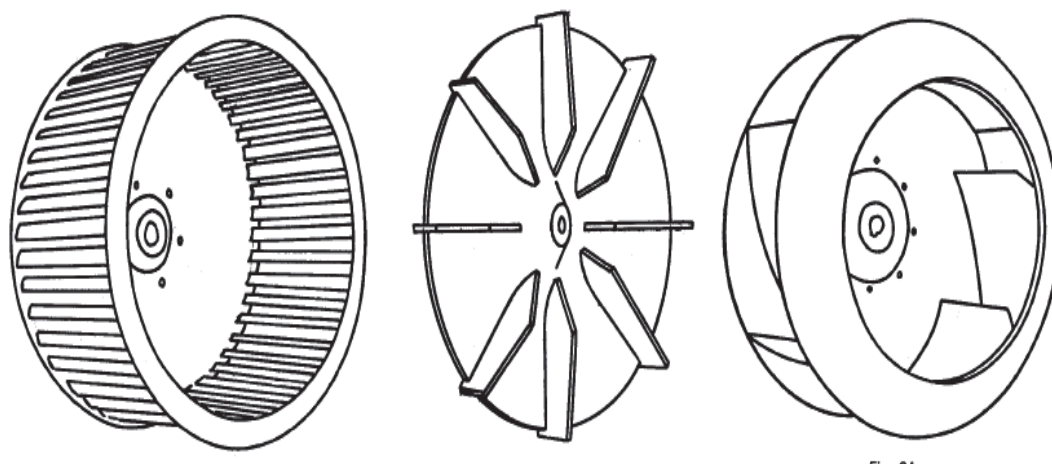


Figura 1.14. Ventiladores centrífugos de álabes curvados hacia delante, radiales y curvados hacia atrás.

Fuente: Ventilación. (s.f.) Recuperado el 31 de agosto de 2015, de <http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-128.htm>

- **Ventiladores axiales:** Estos ventiladores se caracterizan por que el flujo de aire sigue la dirección del eje. Son conocidos como helicoidales pues a la salida del eje el flujo toma esta trayectoria. Generalmente pueden mover grandes caudales a bajas presiones. Suelen ser ruidosos y poseen velocidades periféricas generalmente altas. Se clasifican por la forma de sus envolventes y los más conocidos son los helicoidales, tubulares y tubulares con directrices, en la figura 1.15 se observa un ventilador axial helicoidal.

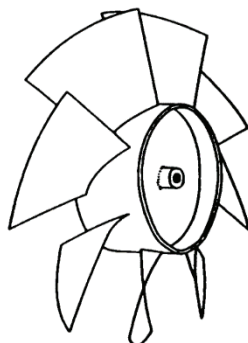


Figura 1.15. Ventilador axial helicoidal

Fuente: Vactech. (s.f.). Recuperado el 31 de agosto de 2015, de http://www.phs-holod.ru/drawing_ziehl-abegg_FE045_a.html

- **Ventiladores Semiaxiales:** Estos ventiladores suelen comportarse como axiales y centrífugos a la vez, son conocidos también como ventiladores especiales dentro de los que tenemos a los ventiladores centrífugos de flujo axial y extractores de techo, en la figura 1.16 se observa un ventilador centrífugo de flujo axial.

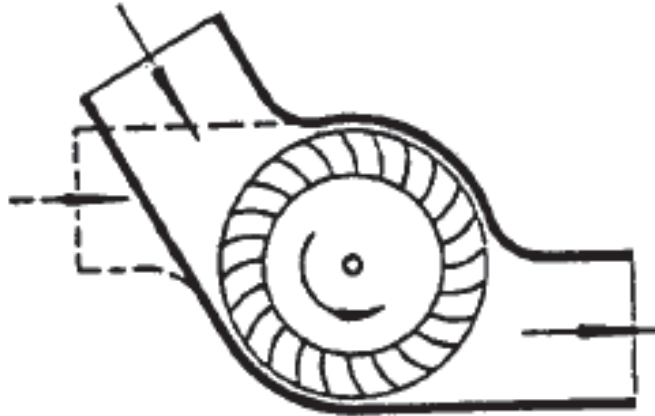


Figura 1.16. Ventilador centrífugo de flujo axial

Fuente: Ventilación. (s.f.) Recuperado el 31 de agosto de 2015, de <http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-128.htm>

Los ventiladores para hornos pueden ser axiales o radiales, pero los más utilizados son los radiales curvados hacia adelante o rectos, pues el trabajo típico en un horno es uniformizar la temperatura de la cámara de cocción.

1.2.3.6. Bastidor

El **bastidor** es el material que recubre toda la superficie del horno, este componente debe ser altamente estético y amigable con el usuario.

Partes del bastidor del Horno

Las partes principales del bastidor de un horno son:

- Paredes Internas
- Paredes externas

- Puerta
- Bandejas

Paredes Internas y externas

El bastidor está compuesto por paredes internas mejor conocida como cámara interna de cocción del horno y paredes externas superiores, inferiores, posteriores y laterales; los mismos que usan como sistemas de sujeción pernos, soldaduras o remaches según el requerimiento del equipo.

Estas paredes se sujetan mediante una estructura metálica pequeña, construida con perfiles de en L, el mismo que dará al horno la resistencia que necesita.

Para hornos domésticos es posible fabricar el bastidor en acero inoxidable o en un acero normal con algún tipo de recubrimiento superficial, para evitar corrosión y deterioro estéticos del equipo. En la figura 1.17 podemos visualizar un ejemplo común de bastidor.



Figura 1.17. Modelo del bastidor de un horno convencional

Fuente: Whirlpool. (s.f.). Recuperado el 31 de agosto de 2015, de http://www.proyectoswhirlpool.com/detalle.php?id=24&id_categoria=&marca=&id_subcategoria=&busc

Puerta

Una de las partes fundamentales del bastidor de un horno es la puerta, la misma que suele ubicarse en la parte frontal del equipo, elemento que ayuda a mantener hermetizado el ambiente en la cámara de cocción del horno.

Las puertas además de ser estéticas deben ser ergonómicas, brindando confort al usuario, dejando ver la cocción de los alimentos, siendo necesario para esto que la puerta tenga una ventana que cumpla con las mismas características de toda la estructura del horno, es decir, que no deje escapar el calor.

El material que ayuda que la puerta del horno cumpla con este requisito es el vidrio, pues además de ser un elemento estético, ayuda a que el usuario pueda controlar la cocción de los alimentos sin necesidad de abrir la puerta.

El vidrio es un material forma parte de una gran familia de cerámicas, el vidrio cuenta con valiosas cualidades tales como la transparencia óptica, la resistencia, el aislamiento y la facilidad con que puede fabricarse, (Vidrio, 2015).

A simple vista los vidrios son iguales, pero su composición química y los tratamientos a los que son sometidos crean una gran clasificación, los más representativos son los vidrios crudos comunes que por su forma de fractura se convierten en un riesgo para los usuarios y los vidrios templados o laminados, los mismos que se caracterizan por ser altamente resistentes y seguros gracias a su forma de fractura.

Los vidrios comunes después de su rotura suelen formar picos que lesionan fácilmente al usuario, al contrario, el vidrio templado forma trozos muy pequeños y sin aristas cortantes.

Existe una gran clasificación de vidrios comerciales, los mismos que con su composición se enlistan en la tabla 1.1

Tabla 1.1 Composición y característica de algunos vidrios comerciales comunes.

Tipo de vidrio	Composición porcentual en peso						Características y aplicaciones
	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Otros	
Sílice fundida	99,5						Alta temperatura de fusión, muy bajo coeficiente de dilatación (resistente al choque térmico)
Sílice (96%) (Vycor)	96				4		Resistente al choque térmico y al ataque químico: material de laboratorio.
Borosilicato (Pyrex)	81	3,5		2,5	13		Resistente al choque térmico y al ataque químico: material para hornos.
Recipientes (sosa-cal)	74	16	5	1		4MgO	Baja temperatura de fusión, conformación fácil, durabilidad.
Fibra de vidrio	55		16	15	10	4MgO	Fácilmente estirada en forma de fibras materiales compuestas de resina-vidrio.
Vidrio óptico "Flint"	54	1				37PbO, 8 K ₂ O	Alta densidad y alto índice de refracción: lentes ópticas.
Vitrocerámica	70			18		4,5TiO ₂ , 2,5 Li ₂ O	Fácilmente fabricada; resistente; resiste en choque térmico: material para hornos.

Fuente: Vidrio. (s.f.). Universidad de Oviedo. Recuperado el 08 de septiembre de 2015 de <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema5.VIDRIO.pdf>

En la tabla 1.1 se observa una amplia gama de vidrios que son útiles para el presente estudio, y muchos de estos vidrios son resistentes al choque térmico debido a que han sido sometidos a un tratamiento de templado.

El templado del vidrio influye directamente sobre la resistencia mecánica. La resistencia de una pieza de vidrio puede aumentarse introduciendo de forma intencionada tensiones residuales superficiales de compresión. Existen dos tipos de tratamiento que son el temple térmico y el temple químico, (Vidrio, 2015).

Temple Térmico: En esta técnica, se calienta a la pieza de vidrio hasta una temperatura superior a la temperatura de transición vítrea e inferior a la temperatura de ablandamiento del cristal. Para posterior a esto enfriarlo bruscamente por inmersión en un baño de sales fundidas, de siliconas o de aceite.

Temple Químico: Este tratamiento consiste en generar tensiones de compresión en el vidrio, producidas por una modificación en la superficie de la composición química. Este procedimiento es poco común en Ecuador, pero existen dos tipos de temple químico que son:

- Creación de capas superficiales de menor coeficiente de dilatación que el vidrio base.
- Intercambio superficial de iones del vidrio por otros de mayor tamaño.

Para hornos domésticos se recomienda el uso de puertas con vidrio de temple térmico, con esto se asegura que el aire interior se mantenga caliente, además de que permite visibilizar la cocción de los alimentos de una forma segura y estética.

Bandeja

Las bandejas de hornos son utensilios de cocina que brindan soporte para la cocción de los alimentos y evita que los jugos de cocción lleguen a la fuente inferior de calor del equipo.

Estos recipientes pueden ser de metálicas con recubrimientos superficiales de teflón o esmalte no tóxico, en el mercado existen bandejas con formas similares a parrillas que son de acero inoxidable y en el mercado se comercializan bandejas de cristal conocidas como pírex, altamente estéticas, pero de uso delicado.

En la figura 1.18 podemos apreciar una bandeja recubierta de teflón y la parrilla.



Figura 1.18. Bandejas para horno

Fuente: Hornos. (s.f.). ELMA. Recuperado el 09 de septiembre de 2015 de <http://www.elblogdeelma.es/nuevos-mini-hornos-elma/>

Las bandejas domésticas no tienen un tamaño estándar, pues cada marca tiene una línea exclusiva de bandejas, actualmente en el sector industrial de Ecuador se comercializan dos tamaños patrones de bandejas un modelo de 45x65 cm y otro con dimensiones de 60x40 cm, (Fritega S.A. Friforíficos y equipos de gastronomía).

Los hornos domésticos tienen medidas externas aproximadas de 60x60x60 cm, una vez determinado el espesor de aislante que tiene cada pared y considerando el espacio que requiere el horno para su panel de control y el espacio para el buen funcionamiento del ventilador, se tiene medidas interiores aproximadas de 45x45x40 cm.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

El funcionamiento de un horno como tal, abarca un sin número de conceptos ingenieriles, que son la base para que funcione de manera correcta, ante la demanda que dicho equipo tiene en los hogares.

2.1. DISEÑO ESTRUCTURAL

En esta sección se citará el fundamento teórico necesario para el diseño de un elemento estructural.

2.1.1. Esfuerzo normal

El esfuerzo normal se representa con la letra σ y se define como la resistencia interna que ofrece una unidad de área de un material, a una fuerza externa. (Mott, 2009)

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ [Pa]} \quad [1]$$

En donde

σ : Esfuerzo, [Pa]

F : Fuerza, [N]

A : Área, [m^2]

2.1.2. Límite de proporcionalidad

El diagrama esfuerzo – deformación unitaria de un acero común, inicia con una línea recta desde el origen hasta llegar a un punto A como se observa en la figura 2.1, siendo el último punto de la curva en el que existe la proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación unitaria, por tal razón el esfuerzo en el punto A , se conoce como límite de proporcionalidad. (Gere & Goodno, 2009)

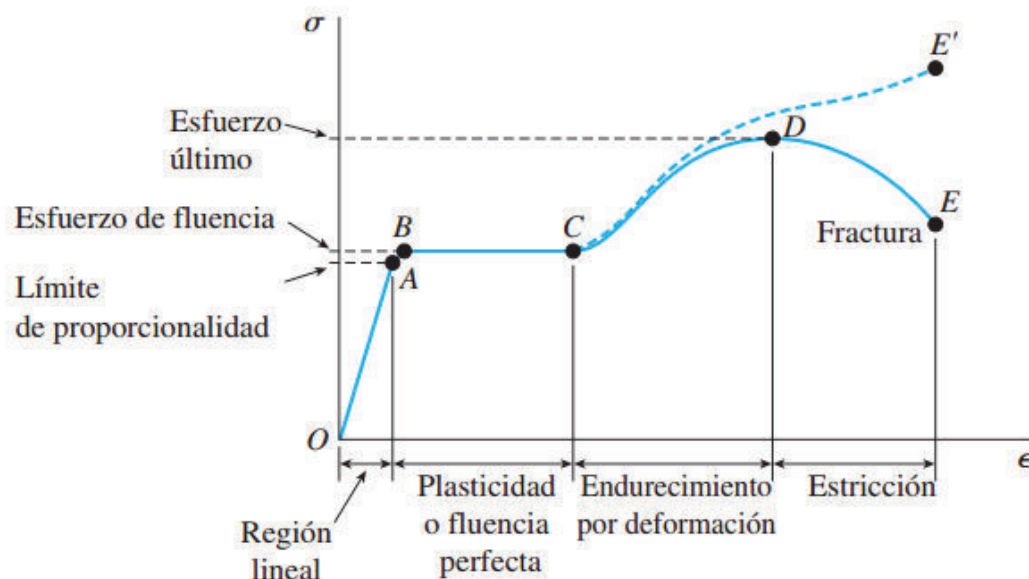


Figura 2.1. Diagrama Esfuerzo - Deformación para un acero estructural típico

Fuente: Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2009). *Mechanics of materials* (Vol. 7). United States: Cengage Learning.

2.1.3. Módulo de elasticidad

Se denomina módulo de elasticidad E , a la pendiente de la recta OA , de la figura 2.1. (Gere & Goodno, 2009)

2.1.4. Esfuerzo de fluencia

Al incrementar el esfuerzo más allá del punto A , la curva esfuerzo – deformación unitaria tiene una pendiente cada vez más pequeña como se puede ver en la figura 2.1, hasta llegar al punto B , en dicho punto la curva se vuelve horizontal y a partir de este punto, el material sufre una deformación permanente (alargamiento del material), a este fenómeno se le conoce como fluencia, el esfuerzo correspondiente al punto B , se le conoce como esfuerzo de fluencia σ_y .

2.1.5. Placas delgas

Una placa delgada, es un elemento estructural que trabaja comúnmente a flexión y posee un espesor muy pequeño comparado con las otras dimensiones, cumple con la

condición que $h/L \ll 1$, (Sánchez Molina & Gonzáles Drigo, 2011) como se observa en la figura 2.2.

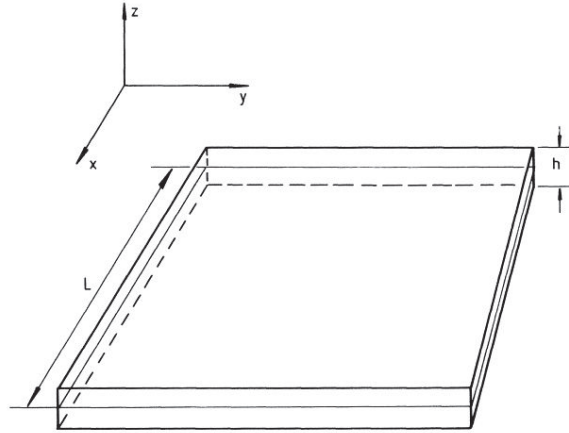


Figura 2.2. Placa delgada

Fuente: Hou-Cheng, H. (1989). *Static and dinamic analyses of plates and shells* (Vol. 1). Berlin: Springer.

2.1.5.1. Esfuerzo y deflexión en placas delgadas

Para el diseño de placas delgadas es necesario determinar la deflexión máxima que se tiene bajo la acción de una carga de trabajo, en una placa delgada se tiene esfuerzos en dos direcciones como se observa en la figura 2.3.

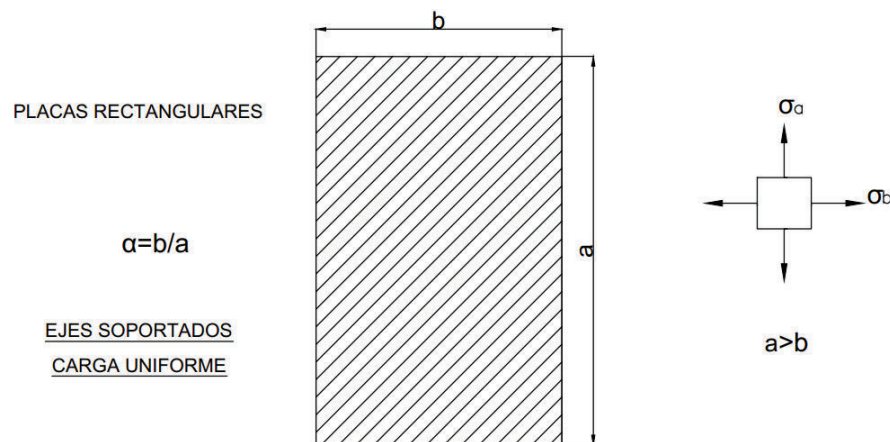


Figura 2.3. Esfuerzos generados en plagas delgadas rectangulares

Fuente: Omer W., B. (1991). *Design of welded structures*. Cleveland - Ohio: James F. LinconIn Arc Welding Foundation.

Para determinar el esfuerzo máximo y la deflexión máxima que se produce en una placa delgada, con sus cuatro lados simplemente apoyados (Apoyo de rodillo), se usa las siguientes expresiones:

$$\sigma_a = - \frac{pb^2(0,225 + 0,382\alpha^2 - 0,320\alpha^3)}{t^2} [Pa] \quad [2]$$

En donde:

σ_a : Esfuerzo en la dirección a, [Pa]

$p = \sigma$: Esfuerzo normal producido por la carga sobre la superficie de la placa, [Pa]

b : Lado más corto de la placa, [m]

a : Lado más largo de la placa, [m]

t : Espesor de la placa, [m]

α : Constante de diseño, [adimensional]

$$\alpha = \frac{b}{a} \quad [3]$$

El esfuerzo máximo se produce en la dirección del lado más corto b de la placa, para determinarlo se usa la expresión:

$$\sigma_{max} = \sigma_b = - \frac{\beta pb^2}{t^2} [Pa] \quad [4]$$

En donde:

$\sigma_{max} = \sigma_b$: Esfuerzo máximo producido en la placa en la dirección b , [Pa]

$p = \sigma$: Esfuerzo normal producido por la carga sobre la superficie de la placa, [Pa]

b : Lado más corto de la placa, [m]

t : Espesor de la placa, [m]

β : Constante de diseño dependiente de la relación a/b

Para determinar el valor de la deflexión máxima que se produce en la placa, la misma que se ubica en el centro de la misma, se utiliza la siguiente expresión:

$$\Delta_{max} = -\frac{0,1422pb^4}{Et^3(1 + 2,21\alpha^3)} = -\frac{\gamma pb^4}{Et^3} [m] \quad [5]$$

En donde:

Δ_{max} : Deflexión máxima en el centro de la placa, [m]

p : Presión que genera la carga sobre la superficie, [Pa]

b : Lado más corto de la placa, [m]

E : Módulo de elasticidad del material, [Pa]

t : Espesor de la placa, [m]

γ : Constante de diseño dependiente de la relación

α : Constante de diseño dependiente de la relación b/a

2.1.6. Factor de seguridad

Con la intención de evitar una falla estructural, Los miembros estructurales o elementos mecánicos se diseñan de manera que los esfuerzos producidos por cargas de servicio no excedan el esfuerzo de fluencia σ_y del material, dividido para un factor de seguridad n . (McCormac & Csernak, 2012). Con esta condición de diseño, se tiene que:

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{n}, [MPa] \quad [6]$$

En donde:

σ_{perm} : Esfuerzo permisible, [MPa]

σ_y : Esfuerzo de fluencia del material, [MPa]

n : Factor de seguridad

2.1.7. Dilatación térmica

Un elemento mecánico a menudo sufre un incremento de temperatura y este tiende a dilatarse, si el elemento no está restringido su dimensión aumentan y no se producen esfuerzos en el material, sin embargo, cuando el elemento mecánico está sometido a restricciones en sus extremos, se producen esfuerzos en el material y se puede producir una deformación permanente. (Mott, 2009)

Para determinar el cambio de longitud de un elemento mecánico se usa la siguiente expresión:

$$\delta = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T \text{ [m]} \quad [7]$$

En donde:

$\delta = l_f - l_0$: Cambio de longitud, [m]

l_f : Longitud final, [m]

l_0 : Longitud inicial, [m]

α : Coeficiente de dilatación térmica para el acero $\alpha = 1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$\Delta T = T_f - T_o$: Cambio de temperatura, [°C]

T_f : Temperatura inicial, [°C]

T_o : Temperatura final, [°C]

2.2. DIMENSIONAMIENTO TÉRMICO

En este apartado se citará el marco teórico requerido y necesario para el diseño térmico de un horno.

2.2.1. Primera ley de la termodinámica

La primera ley de la termodinámica o principio de conservación de la energía, menciona que la energía en un proceso no se crea ni se destruye, solo cambia de forma. (Cengel & Ghajar, Transferencia de calor y masa, 2011)

Para un proceso en estado estacionario, es decir $\Delta E_{sistema} = 0$, la expresión para el balance de energía es:

$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sal} [W] \quad [8]$$

En donde:

\dot{E}_{ent} : Razón de transferencia neta de energía hacia adentro, por calor, trabajo y masa, [W]

\dot{E}_{sal} : Razón de transferencia neta de energía hacia afuera, por calor, trabajo y masa, [W]

2.2.2. Calor

Es una forma de energía que se transfiere de un sistema a otro, mediante un gradiente de temperatura. (Cengel & Ghajar, Transferencia de calor y masa, 2011)

2.2.2.1. Calor sensible

El calor sensible es la energía interna de un sistema que está ligado a la energía cinética de las moléculas, el grado de perturbación de las moléculas depende de la temperatura.

$$\dot{Q}_{sen} = \frac{m \cdot C_{p_{sensible}} \cdot \Delta T}{t} [W] \quad [9]$$

En donde:

\dot{Q}_{sen} : Calor sensible, [W]

m : Masa, [m]

$Cp_{sensible}$: Calor específico (sensible), [J/kg.°C]

ΔT : Cambio de temperatura, [°C]

t : Tiempo, [s]

2.2.2.2. Calor latente

El calor latente es la energía interna de un sistema, asociado a un cambio de fase.

$$\dot{Q}_{lat} = \frac{m \cdot Cp_{latente} \cdot \Delta T}{t} [W] \quad [10]$$

En donde:

\dot{Q}_{lat} : Calor latente, [W]

m : Masa, [m]

$Cp_{latente}$: Calor específico (latente), [J/kg.°C]

ΔT : Cambio de temperatura, [°C]

t : Tiempo, [s]

2.2.2.3. Calor por equipos auxiliares de operación

Se define como el calor adicional que entra a un sistema, por la operación de bombas, ventiladores y compresores. (Clive, 1970)

$$\dot{Q}_{ad,ent} = Pot_{bomba} + Pot_{ventilador} + Pot_{compresor} [W] \quad [11]$$

Para el diseño de un horno eléctrico doméstico de convección forzada, se requerirá de forma obligatoria el uso de un ventilador, es por eso que se definirá los parámetros técnicos para su selección.

Ventilador

Los parámetros básicos de selección de un ventilador son el caudal, la presión de trabajo, las condiciones ambientales, la velocidad de salida, la velocidad máxima de giro, entre otras.

Para poder seleccionar un ventilador para un horno doméstico se requiere determinar el caudal.

- **Caudal**

El caudal, gasto volumétrico o razón de flujo volumétrico es el volumen de fluido que fluye a través de una sección por unidad de tiempo. (Cengel & Cimbala, Fluid Mechanics, 2010)

$$Q = V * A \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad [12]$$

En donde:

Q : Caudal, $\left[\frac{m^3}{s} \right]$

V : Velocidad, $[m/s]$

A : Área, $[m^2]$

2.2.2.4. Calor por reacciones químicas

El calor de reacción es la energía calórica que se absorbe o se desprende durante una reacción química (García Pérez, Teijón Rivera, Olmo López, & García Albendea). Desde el punto de vista energético las reacciones pueden ser exotérmicas, cuando se desprende calor y endotérmicas, cuando se absorbe calor. (Daub, 2011)

Las reacciones químicas que se presentan durante la cocción son: (Matz, 1960)

- Fermentación
- Formación de dióxido de carbono.
- Gelatinización del almidón.

- Coagulación del gluten.
- Caramelización del azúcar.
- Reacción por quema de dextrosa.

Calor por reacciones exotérmicas

El calor por reacción exotérmica se obtiene principalmente por fermentación del azúcar, para determinar su valor se usa la siguiente expresión: (Carzino, 2006)

$$\dot{Q}_{exo} = \frac{n}{t} \cdot m_a \cdot h_{ferm} \cdot \eta_{azuc} [W] \quad [13]$$

En donde:

\dot{Q}_{exo} : Calor por reacciones exotérmicas, [W]

n : Cantidad del alimento a cocer, [adimensional]

t : Tiempo de cocción que requiere el alimento, [s]

m_a : Masa del alimento, [kg]

h_{ferm} : Entalpía de fermentación por respiración anaerobia, [kJ/kg]

η_{azuc} : Concentración de azúcar presente, [%]

Calor por reacciones endotérmicas

El calor por reacciones endotérmicas, se obtienen por gelatinización del almidón y por vaporización del alcohol. (Carzino, 2006)

$$\dot{Q}_{end} = \dot{Q}_{end,gel} + \dot{Q}_{end,alc} [W] \quad [14]$$

En donde:

\dot{Q}_{end} : Calor por reacciones endotérmicas, [W]

$\dot{Q}_{end,gel}$: Calor por gelatinización del almidón, [W]

$\dot{Q}_{end,alc}$: Calor por evaporación del alcohol, [W]

Para determinar el calor por gelatinización de almidón, se usa la siguiente expresión:

$$\dot{Q}_{end,gel} = \frac{n}{t} \cdot m_a \cdot C \cdot (h_m \cdot \eta_m + h_t \cdot \eta_t) [W] \quad [15]$$

En donde:

$\dot{Q}_{end,gel}$: Calor por gelatinización del almidón, [W]

n : Cantidad del alimento a cocer, [adimensional]

t : Tiempo de cocción que requiere el alimento, [s]

m_a : Masa del alimento, [kg]

C : Porcentaje de almidón presente, [%]

h_m : Entalpía de gelatinización del almidón de maíz, [kJ/kg]

η_m : Porcentaje de almidón de maíz presente, [%]

h_t : Entalpía de gelatinización del almidón de trigo, [kJ/kg]

η_t : Porcentaje de almidón de trigo presente, [%]

Para determinar el calor por evaporación del alcohol, se usa la siguiente expresión:

$$\dot{Q}_{end,alc} = 0,5 \cdot \frac{n}{t} \cdot m_a \cdot h_{alc} \cdot \eta_{azuc} [W] \quad [16]$$

En donde:

$\dot{Q}_{end,alc}$: Calor por evaporación del alcohol, [W]

n : Cantidad del alimento a cocer, [adimensional]

t : Tiempo de cocción que requiere el alimento, [s]

m_a : Masa del alimento, [kg]

h_{alc} : Entalpía de evaporación del alcohol, $[kJ/kg]$

η_{azuc} : Concentración de azúcar presente, $[\%]$

2.2.3. Transferencia de calor por radiación

Es la cantidad de energía que sale de una superficie, en forma de ondas electromagnéticas, su expresión matemática es:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad [17]$$

En donde:

\dot{Q}_{rad} : Índice de transferencia de calor por radiación, $[W]$

ε : Emisividad de la superficie, $[adimensional]$

$\sigma = 5,67 \times 10^8$: Constante de Stefan-Boltzmann, $[W/m^2K^4]$

A_s : Área superficial radiante, $[m^2]$

T_s : Temperatura de la superficie radiante, $[^\circ C]$

T_{alred} : Temperatura de los alrededores, $[^\circ C]$

2.2.4. Transferencia de calor por convección

Es la transferencia de calor entre una superficie de un sólido y un fluido que esté en movimiento, (Cengel & Boles, Termodinámica, 2012).

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) [W] \quad [18]$$

En donde:

\dot{Q}_{conv} : Índice de transferencia de calor por convección, $[W]$

h : Coeficiente de transferencia de calor por convección, $[W/m^2^\circ C]$

T_s : Temperatura de la superficie, $[^\circ C]$

T_{∞} : Temperatura del fluido alejado de la superficie (temperatura ambiente), [$^{\circ}\text{C}$]

A_s : Área de la pared, [m^2]

2.2.5. Convección forzada

En la convección forzada, el movimiento del fluido se produce por un agente externo (Bergman , Lavine, Incropera, & DeWitt, 2011), que puede ser:

- Bombas
- Ventiladores
- Compresores
- Viento
- Diferencia de nivel
- Agitador, etc.

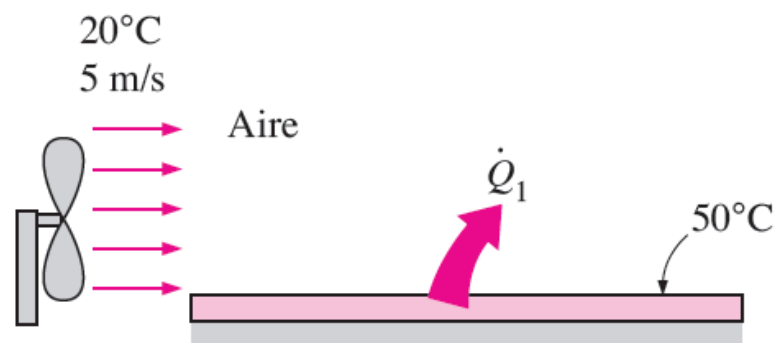


Figura 2.4. Convección forzada

Fuente: Yunus, A. C., & Afshin, J. G. (2011). *Transferencia de calor y +masa*. Mexico: McGraw-Hill.

En la figura 2.4 se observa un modelo gráfico de convección forzada; la transferencia de calor por convección depende en gran medida de las siguientes propiedades:

- Viscosidad dinámica
- Conductividad térmica
- Densidad del fluido

- Calor específico del fluido
- Velocidad del fluido
- Configuración geométrica y rugosidad de la superficie
- Tipo de flujo del fluido.

2.2.5.1. Número de Nusselt

El número de Nusselt es un número adimensional, llamado así en honor a Wilhelm Nusselt, y “representa el mejoramiento de la transferencia de calor a través de una capa de fluido como resultado de la convección en relación con la conducción a través de la misma capa” (Cengel & Ghajar, Transferencia de calor y masa, 2011), su expresión matemática es:

$$Nu = \frac{h \cdot Lc}{K} \quad [19]$$

Donde:

Nu : Número de Nusselt, [*adimensional*]

h : Coeficiente de convección, [$W/m^2\text{°C}$]

Lc : Longitud característica, [m]

K : Conductividad térmica de fluido, [$W/m\text{°C}$]

2.2.5.2. Temperatura de película

La temperatura de película es el promedio de las temperaturas de la superficie de y del fluido, es necesaria calcularla porque las propiedades del fluido se mantienen constantes en esos valores a lo largo de todo el fluido, su expresión es:

$$Tf = \frac{Ts + T\infty}{2} \text{ [°C]} \quad [20]$$

Donde:

Tf : Temperatura de película, [°C]

Ts : Temperatura de la superficie, [°C]

T_{∞} : Temperatura del fluido, [$^{\circ}C$]

2.2.5.3. Número de Reynolds

En 1880, Osborn Reynolds, descubrió que el régimen de flujo de un fluido, depende de la razón entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas de dicho fluido, su expresión matemática es la siguiente:

$$Re = \frac{\text{Fuerzas de inercia}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{vL_c}{\vartheta} = \frac{\rho VL_c}{\mu} \quad [21]$$

Esta razón se conoce como número de Reynolds, y es un valor adimensional.

En donde:

Re : Número de Reynolds, [*adimensional*]

v : Velocidad del fluido, [m/s]

L_c : Longitud característica, [m]

μ : Viscosidad dinámica, [kg/ms]

ϑ : Viscosidad cinemática, [m^2/s]

Es importante conocer en qué tipo de flujo se encuentra el fluido, y aunque en la práctica no se puede tener un valor exacto, se cuenta con rangos de valores para cada tipo de flujo:

- Flujo laminar ≤ 2300
- $2300 <$ Flujo en transición ≤ 4000
- Flujo turbulento > 4000

2.2.5.4. Número de Nusselt en convección forzada sobre cilindros circulares.

El número de Nusselt sobre cilindros, cuando existe convección forzada, depende del rango de Reynolds se calcula mediante las siguientes expresiones:

$$Nu = 0.683 * Re^{0.466} Pr^{1/3} \quad [22]$$

Esta ecuación es aplicable solo si se cumple con:

- $40 \leq Re \leq 4\,000$

$$Nu = 0.193 * Re^{0.618} Pr^{1/3} \quad [23]$$

Esta ecuación es aplicable solo si se cumple con:

- $4\,000 \leq Re \leq 40\,000$

En donde:

Nu : Número de Nusselt, [*adimensional*]

Re : Número de Reynolds, [*adimensional*]

Pr : Número de Prandtl, [*adimensional*]

2.2.6. Convección libre o natural

En la convección libre el movimiento del fluido se produce por el cambio de densidad, al estar en contacto con una superficie más caliente que la temperatura del fluido, su densidad disminuye y sube debido a la flotación, el aire frío se desplaza para llenar el vacío que acaba de dejar el aire caliente al ascender, el ciclo se repite y se produce una corriente de flujo, en la figura 2.5 se puede observar un ejemplo gráfico de convección natural.

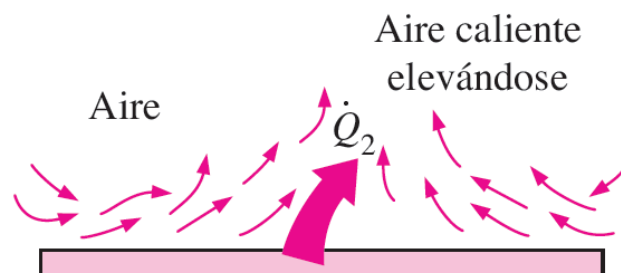


Figura 2.5. Convección libre o Natural

Fuente: Cengel, A. Y., & Afshin, J. G. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw-Hill.

2.2.6.1. Número de Grashof

Es un número adimensional que representa la razón de flotabilidad con respecto a las fuerzas viscosas, lleva dicho nombre en honor al ingeniero alemán Franz Grashof.

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)Lc^3}{\nu^2} \quad [24]$$

Donde:

Gr : Número de Grashof, [*adimensional*]

g : Aceleración gravitacional, [m/s^2]

β : Coeficiente de expansión volumétrica ($\beta = 1/T$ para gases ideales)

T_s : Temperatura de la superficie, [$^{\circ}C$]

T_∞ : Temperatura del fluido, [$^{\circ}C$]

Lc : Longitud característica, [m]

ν : Viscosidad cinemática del fluido, [m/s^2]

2.2.6.2. Número de Rayleigh

El número de Rayleigh, es el producto entre el número de Grashof y el número de Prandtl, e indica la razón de las fuerzas de flotabilidad y las difusividades térmicas y de cantidad de movimiento.

$$Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g\beta(T_i - T_s)H^3}{\alpha \cdot \vartheta} \quad [25]$$

En donde:

Ra : Número de Rayleigh, [*adimensional*]

Gr : Número de Grashof, [*adimensional*]

Pr : Número de Prandtl, [*adimensional*]

2.2.6.3. Número de Nusselt sobre placas verticales

Existen varias fórmulas para determinar el número de Nusselt sobre placas verticales, sin embargo “Churchill y Chu recomienda una correlación que se puede aplicar sobre todo intervalo de Ra ” (Bergman , Lavine, Incropera, & DeWitt, 2011), y es la siguiente expresión:

$$Nu = 0,68 + \frac{0,670 Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} \quad [26]$$

Esta ecuación se usa solo si:

- $0 < Pr < \infty$
- $0 < Ra < 10^9$

En donde:

Nu : Número de Nusselt, [adimensional]

Ra : Número de Rayleigh, [adimensional]

Pr : Número de Prandtl, [adimensional].

2.2.6.4. Número de Nusselt sobre placas horizontales (superficie superior)

Para determinar el número de Nusselt sobre placas horizontales en las que la convección se produce en la superficie superior, como se muestra en la figura 2.6, se utiliza la expresión:

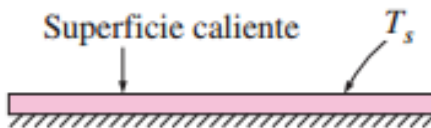


Figura 2.6. Placa horizontal (superficie superior)

Fuente: Yunus, A. C., & Afshin, J. G. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw-Hill.

$$Nu = 0,15Ra^{1/3} \quad [27]$$

Esta ecuación se usa solo si:

- $10^7 < Ra < 10^{11}$

Donde:

Nu : Número de Nusselt, [*adimensional*]

Ra : Número de Rayleigh, [*adimensional*]

2.2.6.5. Número de Nusselt sobre placas horizontales (superficie inferior)

Para determinar el número de Nusselt sobre placas horizontales en las que la convección se produce en la superficie superior, como se muestra en la figura 2.7, se utiliza la expresión:

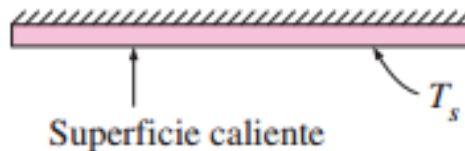


Figura 2.7. Placa horizontal (superficie superior)

Fuente: Yunus, A. C., & Afshin, J. G. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw-Hill.

$$Nu = 0,27Ra^{1/4} \quad [28]$$

Esta ecuación se usa solo si:

- $10^5 < Ra < 10^{11}$

Donde:

Nu : Número de Nusselt, [*adimensional*]

Ra : Número de Rayleigh, [*adimensional*]

2.2.6.6. Número de Nusselt en espacios cerrados rectangulares verticales

Para determinar el número de Nusselt en espacios cerrados rectangulares verticales, como se muestra en la figura 2.8, se utiliza la expresión (Cengel & Ghajar, Transferencia de calor y masa, 2011):

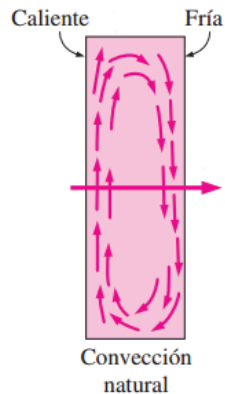


Figura 2.8. Convección natural en espacios cerrados

Fuente: Yunus, A. C., & Afshin, J. G. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw-Hill.

$$Nu = C \cdot Ra^n \quad [29]$$

Esta ecuación se usa bajo las siguientes condiciones:

Si $Ra < 10^3$

- $C = 1$
- $n = 1$

Si $Ra < 10^6$

- $C = 0,105$
- $n = 0,3$

Si $Ra < 10^6$

- $C = 0,4$
- $n = 0,2$

Donde:

Nu : Número de Nusselt, [*adimensional*]

Ra : Número de Rayleigh, [*adimensional*]

C : Constante, [*adimensional*]

n : Constante, [*adimensional*]

2.2.7. Transferencia de calor por conducción

Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las más cercanas menos energéticas, (Bergman , Lavine, Incropera, & DeWitt, 2011).

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} [W] \quad [30]$$

En donde:

\dot{Q}_{cond} : Índice de transferencia de calor por conducción, [W]

k : Conductividad térmica, [$W/m^{\circ}C$]

ΔT : Variación de temperatura, [$^{\circ}C$]

Δx : Espesor de la pared, [m]

A : Área de la pared, [m^2]

2.2.8. Ecuación de estado de gas ideal

De forma general a cualquier gas que obedece la siguiente relación, se lo llama gas ideal, (Cengel & Climba, Fluid Mechanics, 2010)

Por ejemplo, el aire obedece la ecuación de estado de gas ideal, por lo que se lo puede considerar como gas ideal.

$$m_{air} = \frac{PV}{RT} [kg] \quad [31]$$

En donde:

m_{air} : Masa de aire, [kg]

P : Presión absoluta, [kPa]

V : Volumen del aire, [m^3]

T : Temperatura del aire, [$^{\circ}C$]

$R = 0,2870$: Constante del aire, [kJ/kg.K]

2.3. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

Los fenómenos físicos que se presentan en la ingeniería se describen mediante ecuaciones diferenciales, plantear una solución aproximada para condiciones arbitrarias, mediante métodos matemáticos clásicos es un reto y en la mayoría de casos es casi imposible, por el tiempo y la complejidad, (Jacob & Ted, 2007)

El método de los elementos finitos (FEM), es un método para la solución de problemas de ingeniería como análisis de tensión, transferencia de calor, flujo de fluidos, etc.

Para el análisis mediante éste método, al cuerpo continuo se lo divide en un número finito de partes, a las que se las llama elementos, cada uno de estos elementos posee un comportamiento especificado mediante parámetros, en la figura 2.9 se observa una geometría mallada en elementos finitos.

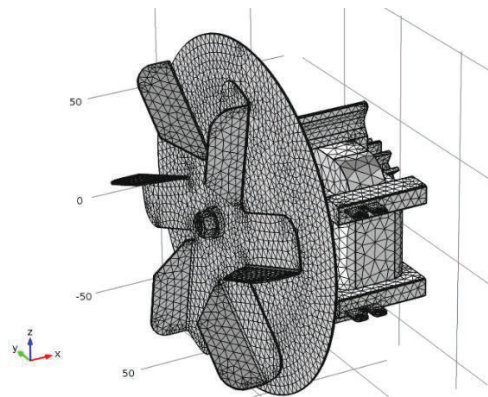


Figura 2.9. Geometría mallada en elementos finitos

Fuente: Propia.

Existen varios tipos de mallado (figura 2.10), que depende directamente de la geometría que se analiza, y sirve para obtener una aproximación exacta de la ecuación diferencial original.

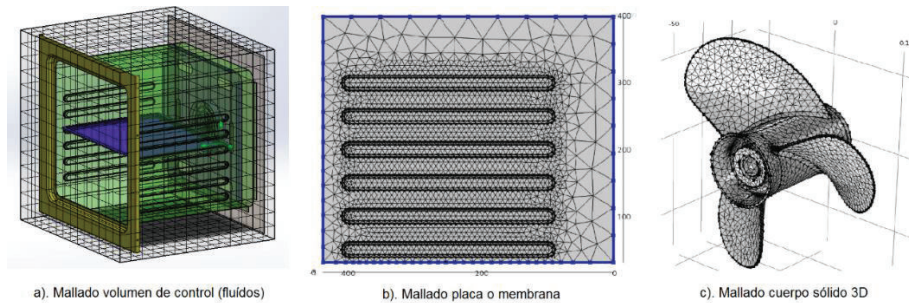


Figura 2.10. Tipos de mallado en diferentes geometrías.

Fuente: Propia.

Existen un sin número de programas FEA (Finite Elements Analysis), y muchos de ellos son paquetes tan potentes que poseen la opción de CAD (Computer Aided Design) Diseño Asistido por computador, en los que se pueden modelar y simular dicho modelo.

Es necesario definir las condiciones de borde, material, apoyos o restricciones, que intervienen en la simulación, luego del análisis es necesario revisar la convergencia y hacer un análisis detallado del elemento, los programas de simulación presentan los resultados en una gama de colores como se muestra en la figura 2.11, generalmente el color rojo indica posible falla o máximo valor en algún parámetro como esfuerzo, deformación, temperatura, etc.



Figura 2.11. Simulación de un engranaje

Fuente: Propia.

CAPÍTULO 3

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE UN HORNO ELÉCTRICO DOMÉSTICO

La tarea principal en este capítulo, es identificar las funciones principales y secundarias de la máquina, entendiendo como funciones principales aquellas por las que el cliente adquiere dicha máquina, las funciones secundarias por otra parte son aquellas que ayudan al cumplimiento satisfactorio de las funciones principales, por ultimo las funciones son agrupadas en módulos, el objetivo de esto es tener un diseño modular del horno, facilitando así el diseño, reducir costos, facilitar el mantenimiento y la producción de cada componente.

3.1. CASA DE LA CALIDAD

La casa de la calidad es una herramienta para conocer las necesidades del usuario y convertirlas en características técnicas, (Romeva, 2002); para ello se identifica la voz del cliente como necesidades y la voz del ingeniero como características técnicas, de este modo:

3.1.1. Voz del usuario

Los requerimientos por parte del usuario, que debe cumplir el horno son los siguientes:

- Fácil operación
- Compacto
- Bajo costo
- Eficiente
- Modo de operación eléctrico
- Seguro
- Fácil limpieza
- Estético

3.1.2. Voz del ingeniero

Una vez establecidos los requerimientos del usuario, se procede a traducir esas demandas en características técnicas, así:

- Materiales
- Capacidad de carga
- Peso
- Temperatura de trabajo
- Panel de control
- Temperatura superficie externa
- Ensamblaje
- Potencia eléctrica
- Movimiento de aire
- Tiempo de trabajo

La matriz desarrollada con estos criterios, llamada casa de la calidad se encuentra en el **Anexo A**.

3.1.2.1. Conclusiones de la casa de la calidad

Una vez desarrollada la matriz se obtienen varias conclusiones, según la voz del usuario se determina que en la actualidad es prioridad que el horno sea eléctrico, reafirmando la necesidad de la población debido a los cambios en el sistema energético actual, pero adicional a esto para el usuario es indispensable que el equipo sea fácil de operar, estético y de bajo costo.

Para poder llegar a cumplir satisfactoriamente los requisitos del usuario la casa de la calidad nos indica los parámetros técnicos con mayor ponderación como son los materiales necesidad indispensable para que el horno sea de calidad, logrando una temperatura de trabajo adecuada y la temperatura superficial correcta, con la ayuda infalible de una elevada potencia eléctrica, que nos dará la energía necesaria para que trabaje el sistema. El desarrollo de un buen sistema de control hará que el equipo sea fácil de maniobrar y estético sin perder de vista el presupuesto.

Al final se pudo determinar los requerimientos básicos de funcionamiento del horno, pues ahora se conoce que trabajará a 220 V, en un rango de temperatura de 50 °C a 250 °C, con una carga máxima de 15Kg, valores que nacen de la voz del ingeniero.

3.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Con la ayuda de la casa de la calidad hemos llegado a establecer las especificaciones de la máquina, las mismas que se detallan en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Especificaciones técnicas horno eléctrico

EMPRESA		Facultad de Ingeniería Mecánica. EPN		
PROYECTO		Horno Eléctrico Doméstico		
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función	13/09/2015	C	R	Cocinar alimentos con energía eléctrica
Carga	13/09/2015	D+C	R+D	Capacidad nominal 15 Kg
Tipo de Energía	13/09/2015	C	R	Eléctrica
Potencia eléctrica	13/09/2015	D	R	220 V
Tipo de cocción	13/09/2015	D+C	R+D	Convección Forzada
Temperatura externa	13/09/2015	D+C	R	Buen recubrimiento aislante
Señales y control	13/09/2015	D	R+D	Panel de control
Seguridad	13/09/2015	D	R	Sistema de bisagras para puerta

Nomenclatura: M=Márquetin, D=Diseño, C=Cliente, P=Producción, F=Fabricación, R/D:

R=Requerimiento, D=Deseo, MR= Modificación de Requerimientos.

Fuente: Propia

Después de identificar las funciones se ordenan en un diagrama de bloques, donde se los separa por niveles, siendo el nivel cero la función global del horno, y continuamos hasta el nivel que nos permite desglosar todas las funciones del horno, además se especifica las entradas y salidas de cada función, las mismas que pueden ser de tres tipos: señal, material y energía, a este conjunto de acciones se le conoce como diseño conceptual. En las figuras 3.1 y 3.2 se muestran las divisiones funcionales del equipo.

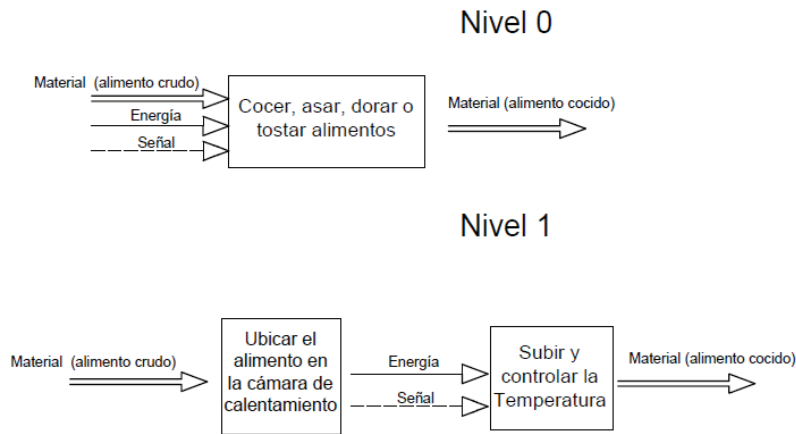


Figura 3.1. Función Estructura Nivel 0 y 1

Fuente: Propia

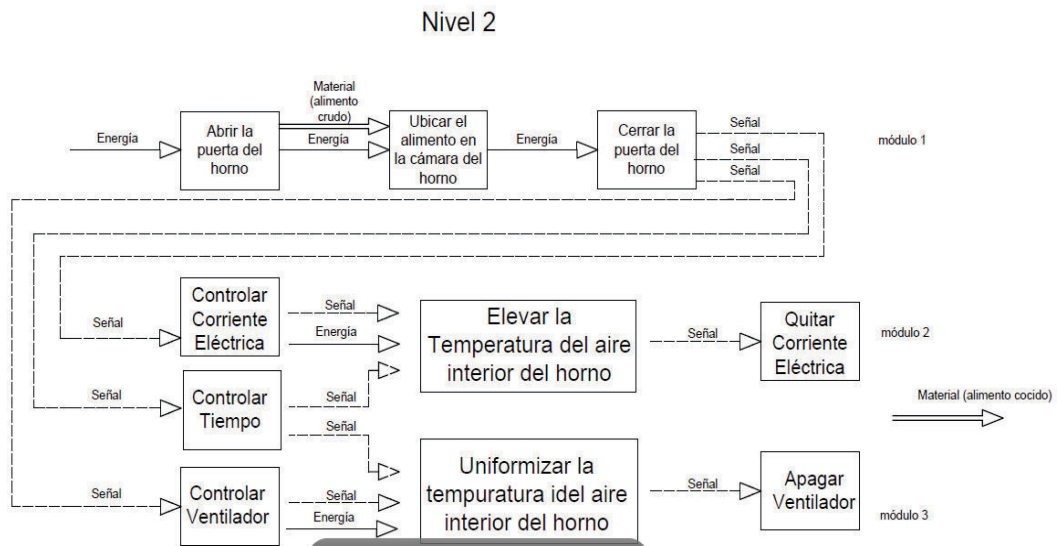


Figura 3.2. Función Estructura Nivel 2

Fuente: Propia

3.2.1. Análisis de la estructura funcional

Después de estudiadas las funciones principales y secundarias de la máquina, se concluyó en tres niveles esenciales, iniciando con el nivel cero y con mayor despliegue termina en el nivel 2 donde de forma compacta se detallan todos los procesos del equipo.

En el nivel 0, como ya se explicó, abarca la función global de la máquina, que en este caso es la cocción de los alimentos, para lo cual debe ingresar material, es decir alimentos crudos y mediante la aplicación de energía y con determinadas señales el equipo entregará un producto cocido.

En el nivel 1 se establecen las funciones con las que el horno logrará la cocción, que será mediante el ingreso de material, lo que significa el alimento crudo, una vez posicionado el alimento en la cámara con la ayuda de energía se elevará y controlará la temperatura para la cocción.

En el nivel 2 se desglosan las funciones específicas para el desarrollo del proceso, en este caso mediante el uso de energía manual abrimos la puerta del horno, ubicamos el material crudo en la cámara de cocción y cerramos la puerta, mediante el uso de energía eléctrica se eleva la temperatura en la cámara interior del horno y con señales se encenderá el ventilador que hará que se uniformice la temperatura del aire en la cámara de cocción del horno, una vez hecho esto y después de un determinado tiempo se retirará la energía del sistema y se apagará el ventilador; para en lo posterior proceder a retirar los alimentos de la cámara de cocción y el proceso de cocción habrá terminado.

Varias de estas funciones se ejecutan con un fin en común; el cual consiste en ayudar con la formulación de grupos de trabajo que son conocidos como módulos, los cuales facilitarán notablemente en desarrollo del diseño.

3.3. DEFINICIÓN DE MÓDULOS

La creación de módulos consiste en dividir al producto en varios bloques funcionales o constructivos. La creación de módulos nos ayuda a facilitar el trabajo, a reducir costos, facilitar el mantenimiento, entre otros.

Para poder cocer alimentos en un horno alimentado por energía eléctrica se han determinado cuatro módulos esenciales

3.3.1. Estructura

Este módulo hace referencia al estudio estructural del equipo, aquí se analizará el tipo de estructura que se presenta, su resistencia mecánica para poder determinar así el espesor mínimo de los materiales con los que se diseñará el equipo.

3.3.2. Transferencia de Calor

La transferencia de calor es un estudio fundamental para el funcionamiento de un horno eléctrico, pues de esto dependerá el calor requerido para la cocción de los alimentos y la seguridad del usuario al manipular las paredes externas del equipo sin que sufran quemaduras.

3.3.3. Convección Forzada

Al diseñar un horno eléctrico, uno de los factores más influyentes es el ahorro de energía, para lo cual es necesario que se realice un estudio de convección forzada, pues con ayuda de la mecánica de fluidos se hará la elección de un ventilador funcional que permita uniformizar la temperatura en la cámara del horno reduciendo así el tiempo de cocción.

3.3.4. Estudio Eléctrico

Para el funcionamiento de un horno eléctrico es necesario que el sistema eléctrico y electrónico instalado tenga la capacidad de generar la energía requerida para la cocción, razón por la cual se estudiará todo el sistema eléctrico del equipo y el funcionamiento del panel de control.

En la figura 3.3 se puede observar de mejor manera los módulos que presenta el equipo.

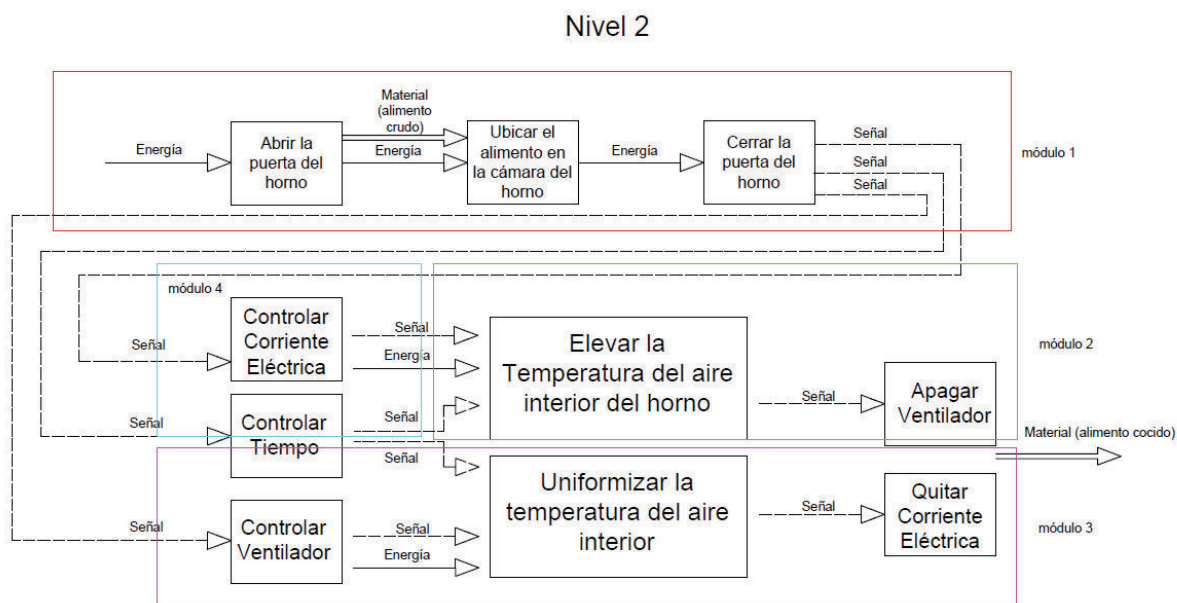


Figura 3.3. Módulos de un horno eléctrico

Fuente: Propia

3.4. SOLUCIONES PARA CADA MODULO

3.4.1. Selección de alternativas

Realizando el análisis de la estructura funcional, se agruparán los elementos en dos módulos debido a la conveniencia y factibilidad que sus funciones describen. Los módulos descritos serán: estructura, considerado el primer módulo, el segundo módulo llamado Transferencia de calor, el tercero que se conoce como convección forzada y el cuarto que es estudio eléctrico y electrónico.

3.4.1.1. Módulo 1 (Estructura)

Este módulo debe cumplir con las siguientes funciones:

- Abrir y cerrar puerta

- Colocar el alimento en la bandeja
- Colocar la bandeja en la cámara interna y soportar la carga
- Cámara de cocción

3.4.1.2. Módulo 2 (*Transferencia de calor*)

En este módulo encontramos las siguientes funciones:

- Fuente de calor
- Controlar la temperatura externa del horno

3.4.1.3. Módulo 3 (*Convección Forzada*)

En este módulo las funciones a cumplir son:

- Determinar el tipo de ventilador a utilizar

3.4.1.4. Módulo 4 (*Estudio Eléctrico*)

En este módulo se deberán estudiar las siguientes funciones:

- Determinar la temperatura de cocción
- Encender el horno y control el tiempo
- Cableado eléctrico
- Energizar todo el sistema (ventilador, panel de control, luz led, resistencia)

En cada uno de los módulos se ha detectado varios problemas a los cuales se pretende dar solución con un mínimo de una alternativa, para que el conjunto de soluciones nos dé un prototipo de horno.

3.5. MÓDULO 1

El modulo estructura tiene que cumplir varias funciones:

3.5.1. Abrir y cerrar la puerta

Esta función brinda acceso a la cámara de cocción del horno, para esto debemos definir el mecanismo que nos ayudará a cumplir esta función.

3.5.1.1. Alternativa 1

La primera solución es un mecanismo de apertura de arriba hacia abajo, donde la puerta estará sujeta en la parte inferior del horno y la manija en la parte superior. En la figura 3.4 se observa el prototipo de este modelo.

Ventaja

- Permite al usuario asentar los alimentos en la puerta cuando esta está totalmente horizontal, brindando así un servicio adicional.
- Menor cantidad de material para su fabricación.
- Menor costo.

Desventaja

- No ofrece innovación

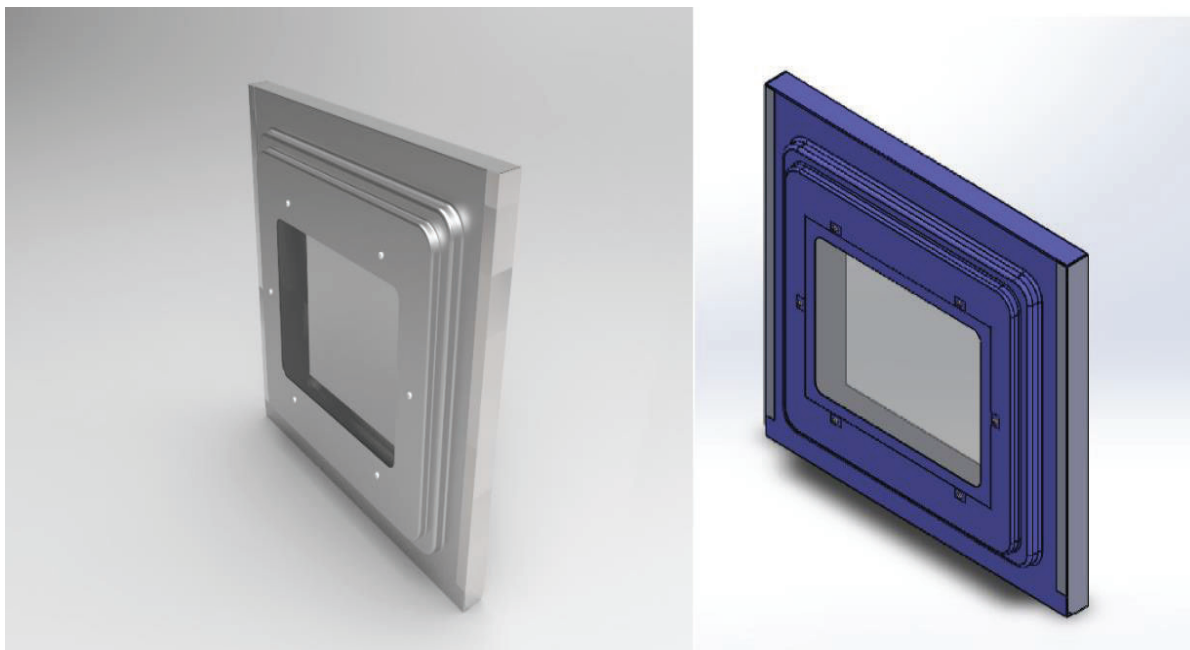


Figura 3.4. Puerta de horno con mecanismo de apertura de arriba abajo, renderizado y diseño

Fuente: propia

3.5.1.2. Alternativa 2

La segunda solución es un mecanismo de apertura de adentro hacia afuera, donde la puerta presenta un sistema de rieles que se abre de adentro hacia afuera y las bandejas se sujetan mediante ganchos en la puerta. En la figura 3.5 se muestra un prototipo de este diseño.

Ventaja

- Ofrece seguridad al usuario, evitando que entre en contacto directo con la fuente de calor.
- Reduce costos por embutición en la cámara de cocción

Desventaja

- Diseño de sistemas de seguridad y bloqueo de puerta
- Diseño de una puerta robusta, pues soporta todo el peso de las bandejas

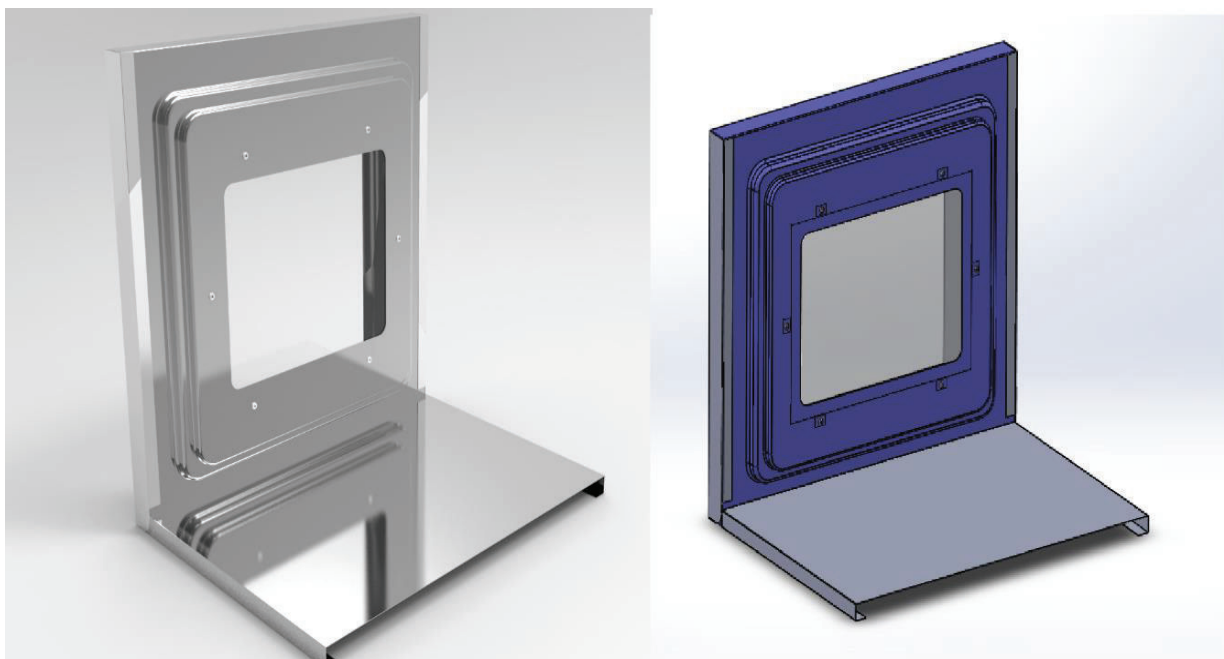


Figura 3.5. Puerta de horno - carro extraíble renderizado y diseño

Fuente: propia

3.5.2. Colocar alimentos en la bandeja

3.5.2.1. Alternativa 1

Para poder cocer alimentos en un horno, esta debe ofrecer un utensilio que permita sujetar los alimentos, este elemento es conocido como bandeja, que en este diseño será un elemento continuo, que podrá almacenar también los jugos de cocción. En la figura 3.6 se puede observar el prototipo.

Ventaja

- Sujeción total de los alimentos
- Almacenamiento de los líquidos de cocción
- Facilidad de construcción

Desventaja

- Al ser un elemento adicional en la producción de hornos, se incrementa el costo de producto.

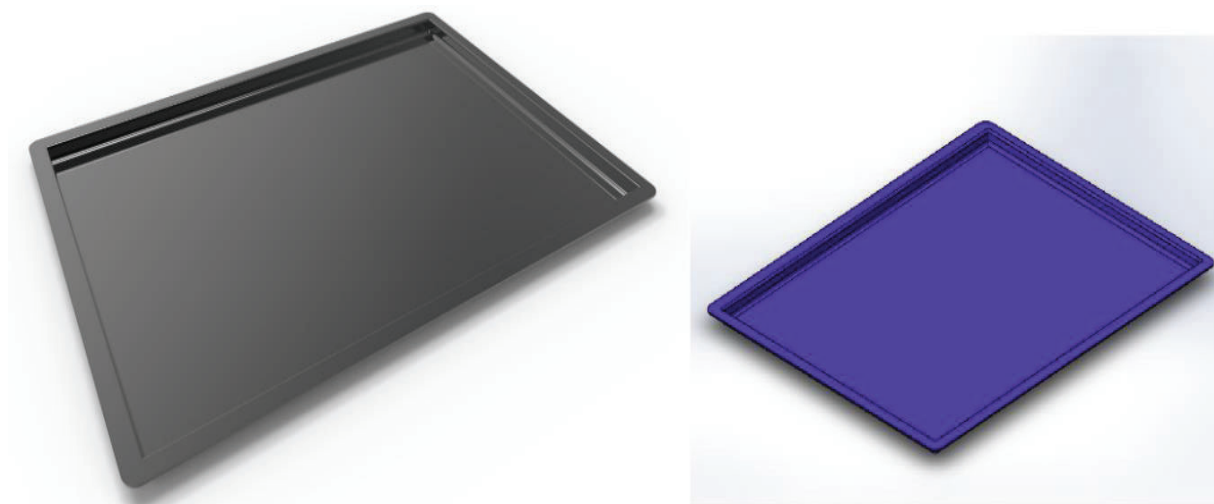


Figura 3.6. Bandeja de horno renderizado y diseño

Fuente: Propia

3.5.3. Colocar la bandeja en la cámara de cocción

Una vez que se coloca los alimentos en la bandeja, esta debe ingresar a la cámara de cocción; las bandejas pueden ingresar hasta en 4 niveles diferentes, lo que nos lleva a determinar el soporte en estos 4 niveles para lo cual se presentan 2 alternativas.

3.5.3.1. Alternativa 1

La primera alternativa es la tradicional donde las bandejas se asientan en las paredes del horno, repartiendo todo su peso a la estructura del equipo. En la figura 3.7 se observa esta alternativa

Ventaja

- La sujeción es continua, la distribución del peso es continua.

Desventaja

- No brinda ergonomía al usuario
- Pone en riesgo al usuario, pudiendo entrar en contacto con la fuente energética

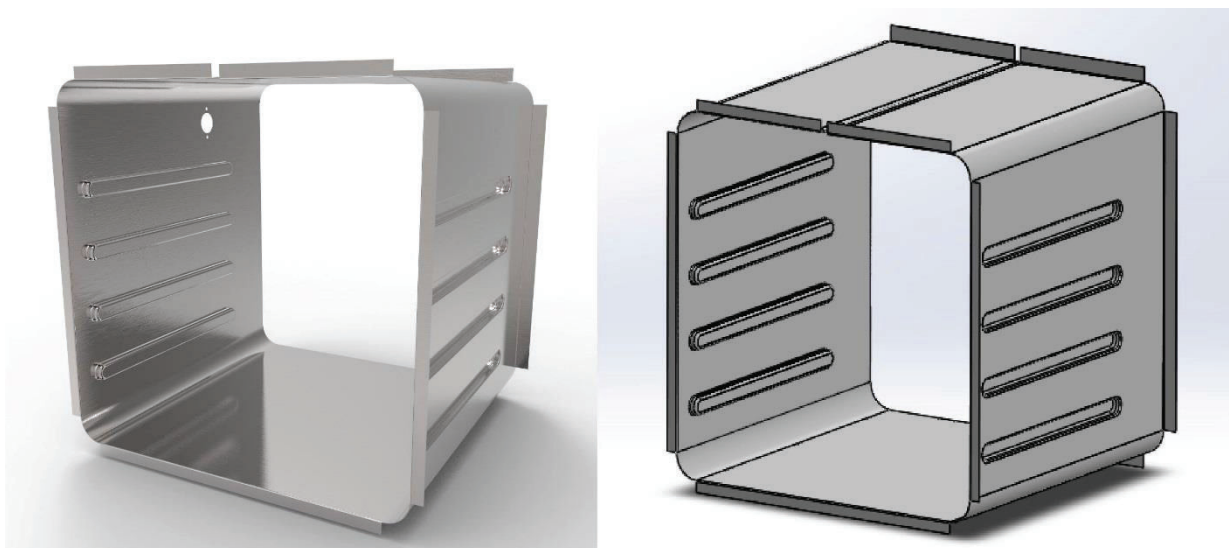


Figura 3.7. Sujetador de bandejas - Cámara de cocción renderizado y diseño

Fuente: Propia

3.5.3.2. Alternativa 2

En la segunda alternativa se presenta una sujeción moderna, en la que las bandejas se mantienen en su nivel debido a momentos, es decir las bandejas se sujetan mediante ganchos a la puerta del horno, manteniéndose así debido a los momentos que se presentan en el sistema. En la figura 3.8 se muestra un modelo de este diseño.

Ventaja

- Brinda seguridad al usuario, pues no entra en contacto con la fuente de poder.

Desventaja

- Existen solo dos puntos de contacto entre la bandeja y el horno.
- Si se desea hornear varias bandejas, para revisión de la cocción se deberá sacar todas las bandejas.
- Las juntas entre la puerta y los anchos deberán ser mas de alta calidad para evitar que el equipo falle, lo que elevará los costos de producción.

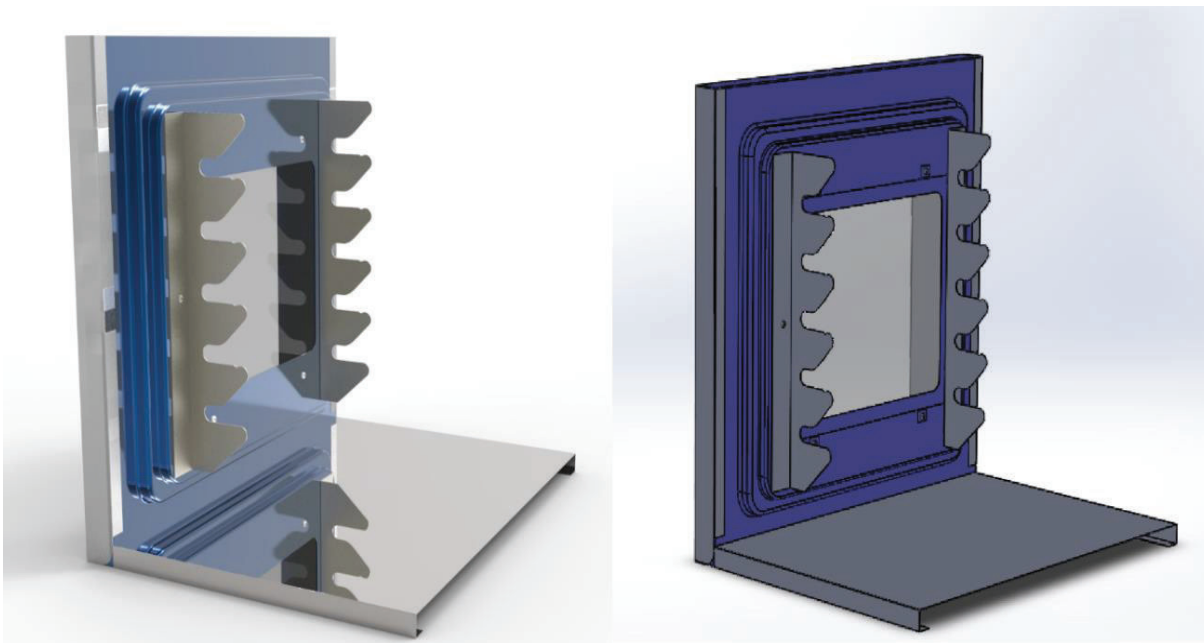


Figura 3.8. Sujetador de bandejas – Puerta del horno

Fuente: Propia

3.5.4. Cámara de cocción

La cámara de cocción depende netamente del sistema de sujeción de las bandejas, si la sujeción es por medio de las paredes del horno, la cámara del horno deberá tener soportes y si el sistema de sujeción está en la puerta la cámara de cocción será lisa.

3.5.4.1. Alternativa 1

Si la cámara de cocción es el soporte de las bandejas, por medio de un proceso mecánico deberá adaptar su forma, en este caso por medio de embutición. En la figura 3.9 se observa este modelo de cámara.

Ventaja

- La cámara posee soporte para bandejas

Desventaja

- Costos elevados por proceso de conformado mecánico

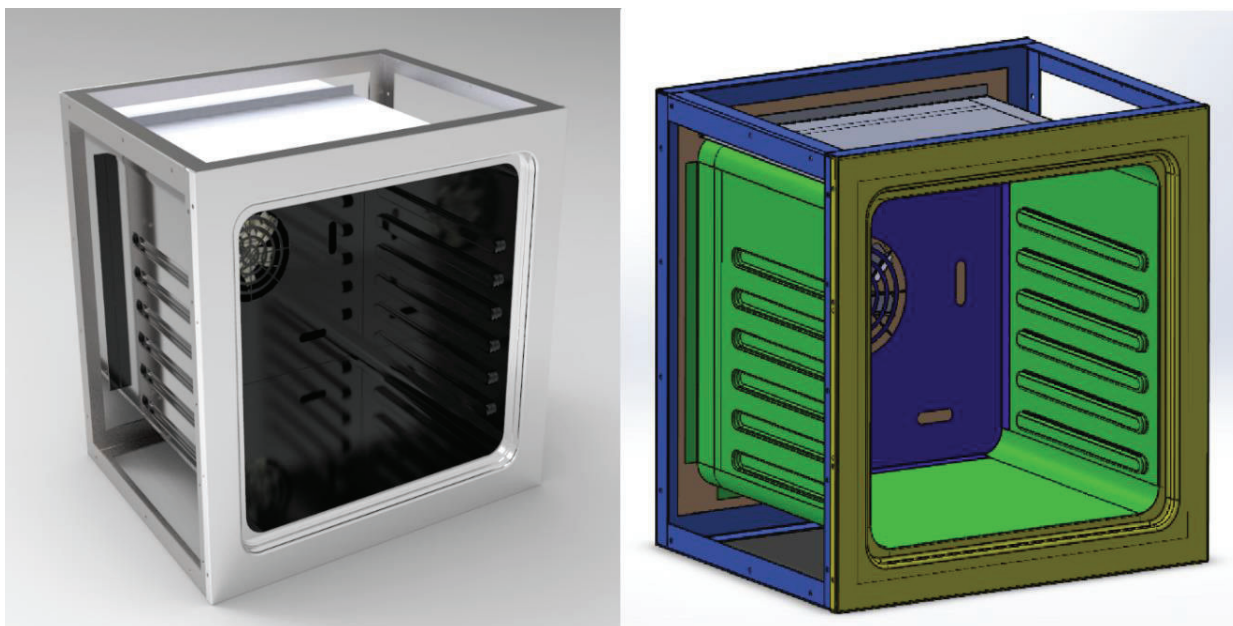


Figura 3.9. Cámara de cocción con sujetadores

Fuente: Propia

3.5.4.2. Alternativa 2

Si los soportes de la bandeja se encuentran en la puerta del horno, se tendrá una cámara interna con paredes lisas, sin deformaciones, que permita que la puerta con las bandejas se deslice sin ningún inconveniente. En la figura 3.10 se observan un prototipo de este tipo de cámara.

Ventaja

- Reducción de costos de conformado mecánico
- Cámara de cocción altamente estética
- Una vez con la puerta fuera, es de fácil limpieza

Desventaja

- No posee ningún tipo de sujeción para bandejas
- Para una fácil limpieza se debe extraer la puerta
- Aleja al usuario de su zona de confort, pues el modelo es nuevo.

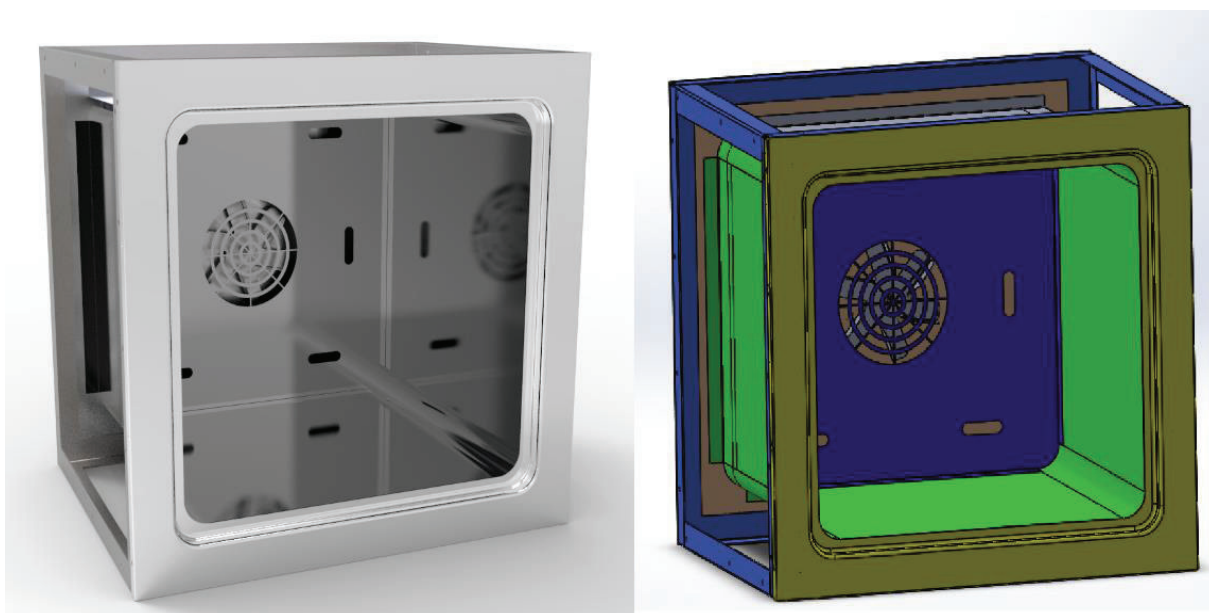


Figura 3.10. Cámara de cocción lisa

Fuente: Propia

3.5.5. Alternativas de módulos

Para llegar a alternativas favorables, partiendo de las necesidades de cada función, se han planteado componentes que dan soluciones; los mismo que al combinarse factiblemente entre sí generan alternativas; las que se muestran en la tabla 3.2.

En las figuras 3.11 y 3.12 se observan los prototipos de cada alternativa, las mismas que intentan satisfacer las necesidades del usuario.

Tabla 3.2 Tabla de formulación de alternativas para el módulo 1

FUNCIÓN	COMPONENTE	
Abrir y cerrar la puerta	Apertura de arriba-abajo	Carro extraíble
Colocar la bandeja en la cámara de cocción	Cámara con sujetadores	Sujetadores en la puerta del horno
Cámara de cocción	Cámara con sujetadores	Cámara lisa
Colocar alimentos en la bandeja	Bandeja de horno	
	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2

Fuente: Propia

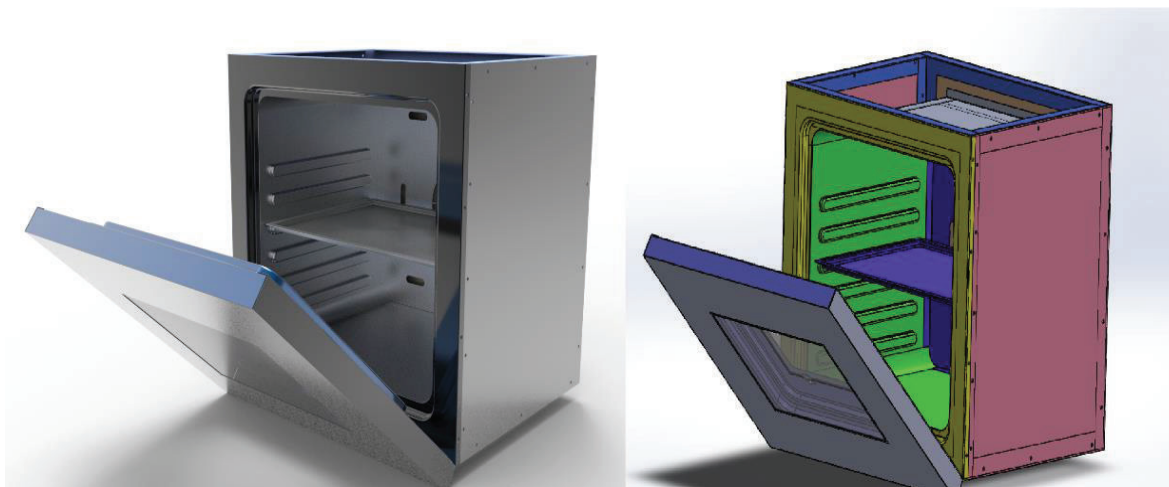


Figura 3.11. Alternativa 1 de horno eléctrico doméstico

Fuente: Propia

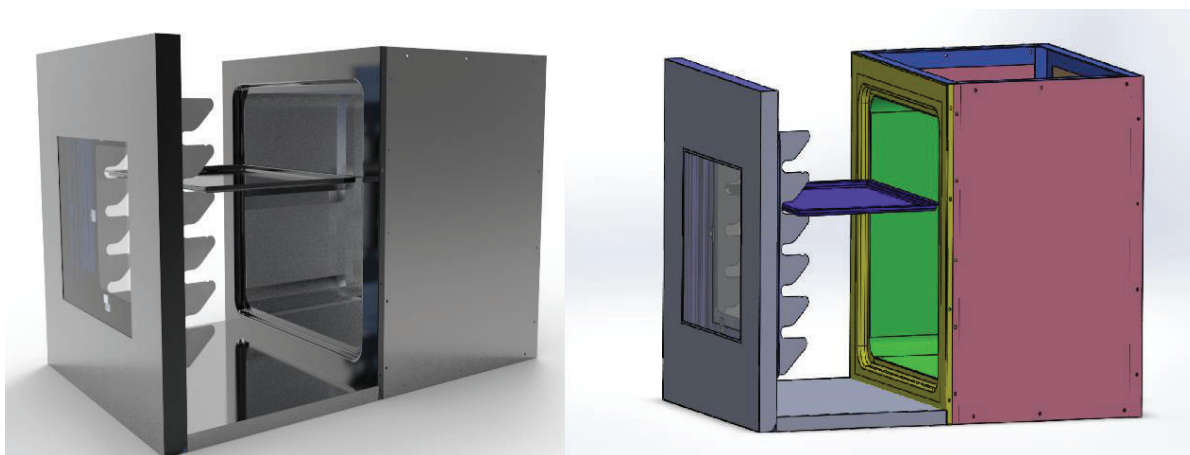


Figura 3.12. Alternativa 2 de horno eléctrico doméstico

Fuente: Propia

3.5.6. Evaluación y selección de los módulos

Con el fin de determinar el modelo más conveniente se realiza una selección de alternativas utilizando el método original de criterios corregidos.

Se listan a continuación las valoraciones más relevantes:

- **Estabilidad:** Se evalúa la estabilidad de la estructura, cuando esté sometida a la mayor carga permitida dentro del horno.
- **Facilidad de construcción:** Se analiza el horno con mayor viabilidad de construcción.
- **Costos:** Se analiza el equipo que presente el menor costo de construcción.

La evaluación para la ponderación de los criterios se observa en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Matriz de valoraciones

	Estabilidad	Facilidad de construcción	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Estabilidad		0	0	1	0,17
Facilidad de construcción	1		0	2	0,33
Costo	1	1		3	0,50
SUMA				6	1,00
Costo > Facilidad de Construcciones > Estabilidad					

Fuente: Propia

Según la matriz de ponderación se considera que el costo como la valoración más elevada, seguida de la facilidad de construcción y de la estabilidad.

En las tablas 3.4, 3.5 y 3.6 se evalúan las soluciones frente a las valoraciones.

Tabla 3.4 Tabla de valoración de soluciones frente a la estabilidad

Estabilidad	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0,67
Solución 2	0		1	0,33
SUMA			3	1,00
SOLUCIÓN 1>SOLUCIÓN 2				

Fuente: Propia

Tabla 3.5 Tabla de valoración de soluciones frente a la facilidad de construcción

Facilidad de construcción	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0,67
Solución 2	0		1	0,33
SUMA			3	1,00
SOLUCIÓN 1>SOLUCIÓN 2				

Fuente: Propia

Tabla 3.6 Tabla de valoración de soluciones frente al costo

Costo	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	1,5	0,50
Solución 2	0,5		1,5	0,50
SUMA			3	1,00
SOLUCIÓN1=SOLUCIÓN 2				

Fuente: Propia

En la tabla 3.7 se observa la matriz de evaluación final, donde se valoran las soluciones con relación a las especificaciones.

Tabla 3.7 Tabla de conclusión para el módulo 1

Conclusiones	Estabilidad	Facilidad de Construcción	Costo	$\Sigma+1$	Prioridad
Solución 1	0,11	0,222	0,250	0,58	1
Solución 2	0,06	0,111	0,250	0,42	2
SUMA				1,00	
SOLUCIÓN 1>SOLUCIÓN 2					

Fuente: Propia

Según la matriz de selección se observa que la opción más viable es la alternativa 1.

3.6. MÓDULO 2

El módulo de transferencia de calor tiene que cumplir varias funciones:

3.6.1. Fuente de Calor

Un horno para la cocción de alimentos requiere de una fuente de calor, en el capítulo 1 se definieron varias fuentes de calor y tipos de cocción; de ahí nacen varias alternativas.

3.6.1.1. Alternativa 1

En esta alternativa se considera la cocción mediante resistencias, utilizando este tipo de dispositivos puede calentar el ambiente de la cámara de cocción y con la ayuda del ventilador se lograría la temperatura de cocción en menor tiempo.

Las resistencias eléctricas existen de varios tamaños y características, estas deben proporcionar la energía necesaria para que la cocción de los alimentos se realice en

el menor tiempo. La selección de estos dispositivos se realizará en el capítulo 4, una vez determinado el calor total requerido para la cocción. Dependiendo de las funciones que cumple un horno las resistencias pueden ubicarse en la parte superior, inferior y anterior del horno, en la figura 3.13 se muestra un ejemplo.

Ventaja

- La cocción es uniforme y buen leudo de las masas.
- Es una forma de energía limpia, no produce olores ni gases en la cocción.
- Su costo es competitivo, menor costo que implementar un sistema de inducción.

Desventajas

- La cocción de los alimentos requiere de un alto consumo energético, lo que se ve reflejado en el aumento de consumo de energía eléctrica en el hogar.



Figura 3.13. Resistencia eléctrica para horno

Fuente: *Relega 2000*. (s.f.). Recuperado el 23 de septiembre de 2015 de <http://relega2000.com/tiendaonline/resistencia-de-horno/5334-resistencia-de-horno-electrico-franke-3000-w-horno-de-hosteleria-.html>

3.6.2. Controlar la temperatura externa del horno

En el proceso de transferencia de calor, se pretende reducir las pérdidas al mínimo, para esto es indispensable el uso de un recubrimiento aislante; para poder dar solución a esta problemática se consideran varias alternativas:

3.6.2.1. Alternativa 1

Como primera opción se pretende trabajar con lana de vidrio, pues un recubrimiento muy utilizado en Ecuador. En la figura 3.14 se observa este material.

Ventaja

- Posee un bajo coeficiente de transferencia de calor e igual a $0.038 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{M})$.
- Es de producción ecuatoriana.

Desventaja

- Su costo es parcialmente elevado.



Figura 3.14. Lana de vidrio.

Fuente: Fribras. (s.f.). *TecnoBlogSanMartin*. Recuperado el 22 de septiembre de 2015, de <https://tecnoblogsanmartin.wordpress.com/category/tecnologia-3%C2%BA-e-s-o/unidad-8-materiales-textiles/>

3.6.2.2. Alternativa 2

Otra de las alternativas viables es el uso de aire, pues como se conoce se coeficiente de transferencia de calor es muy bajo en incluso menor que la lana de vidrio e igual a $0.034 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{M})$.

Ventaja

- Posee un bajo coeficiente de transferencia de calor e igual a $0.034 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{M})$.

- No añade costos adicionales a la producción

Desventaja

- El aire en contacto con ciertos tipos de materiales y en condiciones hostiles puede corroerlos.
- Se produce convección natural, disminuyendo así la eficiencia de este aislante.

3.6.3. Alternativas de módulos

Para llegar a alternativas favorables, partiendo de las necesidades de cada función, se han planteado soluciones; los mismo que al combinarse factiblemente entre sí generan alternativas; las que se muestran en la tabla 3.8.

Tabla 3.8. Tabla de formulación de alternativas para el módulo 2

FUNCIÓN	COMPONENTE
Fuente de calor	Resistencias
Controlar la temperatura externa del horno	Lana de vidrio
	Aire
	ALTERNATIVA 1
	ALTERNATIVA 3

Fuente: Propia

Entonces para poder controlar la transferencia del equipo tenemos 2 alternativas las cuales son:

Alternativa 1: Aquí se pretende que el horno funcione con resistencias eléctricas y con lana de vidrio como aislante térmico. En la figura 3.15 se observa un prototipo.

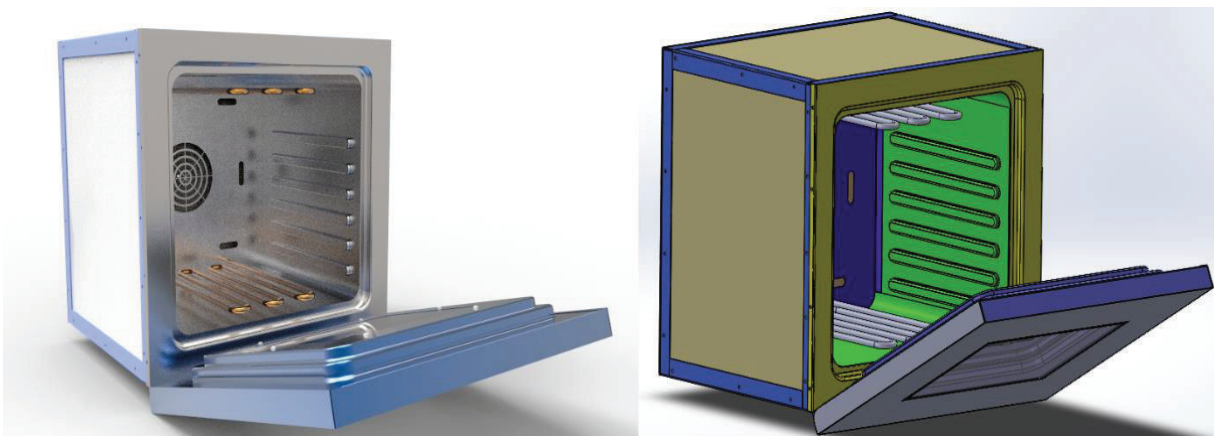


Figura 3.15. Alternativa 1 de horno eléctrico doméstico

Fuente: Propia

Alternativa 2: Aquí se pretende que el horno funcione con resistencias eléctricas y con aire como aislante térmico. En la figura 3.16 se observa un prototipo.

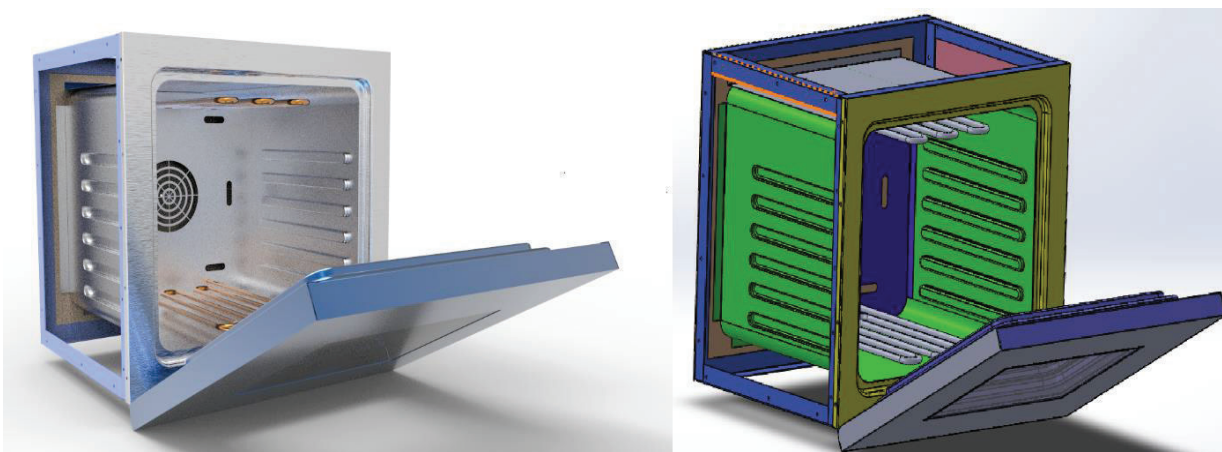


Figura 3.16. Alternativa 1 de horno eléctrico doméstico

Fuente: Propia

3.6.4. Evaluación y selección de los módulos

Con el fin de determinar el modelo más conveniente se realiza una selección de alternativas utilizando el método original de criterios corregidos.

Se listan a continuación las valoraciones más relevantes:

- **Estabilidad térmica:** Se analiza el aislante térmico más estable y de mayor eficiencia.
- **Costos:** Se analiza el equipo que presente el menor costo de construcción.

La evaluación para la ponderación de los criterios se observa en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Matriz de valoraciones

	Estabilidad Térmica	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Estabilidad Térmica		1	2	0,67
Costo	0		1	0,33
SUMA			3	1,00

Estabilidad térmica > Costo

Fuente: Propia

En las tablas 3.10 y 3.11 se evalúan las soluciones frente a las valoraciones.

Tabla 3.10 Tabla de valoración de soluciones frente a la estabilidad térmica

Estabilidad Térmica	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0,67
Solución 2	0		1	0,33
SUMA			3	3

SOLUCIÓN 1>SOLUCIÓN 2

Fuente: Propia

Tabla 3.11 Tabla de valoración de soluciones frente al costo

Costo	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0,67
Solución 2	0		1	0,33
SUMA			3	3

SOLUCIÓN 1>SOLUCIÓN 2

Fuente: Propia

En la tabla 3.12 se observa la matriz de evaluación final, donde se valoran las soluciones con relación a las especificaciones.

Tabla 3.12. Tabla de conclusión para el módulo 2

Conclusiones	Estabilidad térmica	Costo	$\Sigma+1$	Prioridad
Solución 1	0,44	0,222	0,67	3
Solución 2	0,22	0,111	0,33	2
SUMA			1,00	
SOLUCIÓN 1>SOLUCIÓN 2				

Fuente: Propia

Según la matriz de selección se observa que la opción más viable es la alternativa 1.

3.7. MÓDULO 3

El módulo 3 trata sobre el estudio de la convección forzada dentro del equipo.

3.7.1. Determinar el tipo de ventilador a utilizar

Para hacer de un horno un equipo más eficiente energéticamente se requiere de un sistema que nos ayude a uniformizar la temperatura del aire, este sistema está dado por un ventilador; en el mercado actual existen varios tipos de ventiladores, pero como ya se trató en el capítulo 1, la mejor opción de ventiladores son los de alabes curvos hacia adelante o rectos, pero los de más fácil adquisición son los ventiladores de alabes rectos, ventiladores de alabes rectos se los puede encontrar en varias dimensiones y características, en el **Anexo B** se adjunta una clasificación de estos ventiladores.

Par la selección del ventilador vemos descartando según las necesidades que se presentan en el diseño, en primer lugar, se descartan los ventiladores de 50 Hz, Puesto que la frecuencia de Ecuador es de 60Hz; para poder elegir entre los ventiladores de 60Hz se toma en cuenta el caudal, y se conoce que para el funcionamiento de un horno se necesita un bajo caudal, hipótesis que se comprobará en el capítulo 4; pero ahora sabemos que es indispensable un ventilador de alabes rectos de 60Hz con un bajo caudal. En la figura 3.17 se observa un ejemplo de ventilador.



Figura 3.17. Ventilador con alabes rectos

Fuente: *Ebmpapst.* (s.f.). Recuperado el 23 de septiembre de 2015 de http://www.ebmpapst.com/en/products/gas-blowers/solid_fuel_heating_systems

3.8. MÓDULO 4

En este módulo se hará referencia al análisis eléctrico del horno, donde se deberá definir las uniones entre la fuente de calor y los elementos eléctricos, además de cómo se energizará todo el sistema.

3.8.1. Determinar la temperatura de cocción

Esta función es una de las principales para la cocción del horno, pues el usuario deberá determinar la temperatura exacta para la cocción del alimento, para que esta función se cumpla, el horno debe tener un panel de control donde el usuario indica la temperatura de cocción, seguido de las indicaciones para el funcionamiento del horno.

A través del panel de control el usuario ingresará los requerimientos al sistema, en este caso definirá la temperatura y la función que el horno deberá cumplir; la temperatura esta graduada desde los 50°C hasta los 250°C, y las funciones será cocción con la resistencia superior y posterior o grill con la superior en todos los casos el ventilador permanecerá encendido, con el objetivo de enfatizar en el ahorro del tiempo de cocción. Existen varias alternativas que dan solución al requerimiento; para poder realizar las funciones anteriormente descritas se debe iniciar por el control interior del sistema, el mismo que será programado con una tarjeta electrónica mega arduino la misma que se observa en la figura 3.18.

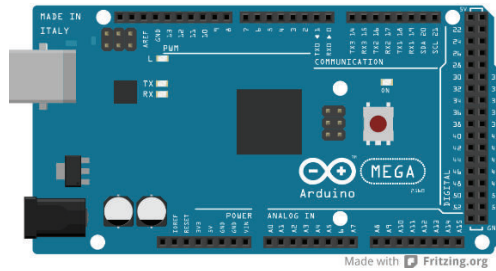


Figura 3.18. Tarjeta Mega arduino

Fuente: Arduino. (s.f.). Recuperado el 21 de septiembre de 2015 de <http://saber.patagoniatec.com/>

Para que el usuario ingrese la temperatura exacta del sistema se requiere de sensores los cuales se conectará con la tarjeta arduino y para esto existen 2 alternativas viables.

3.8.1.1. Alternativa 1

La primera alternativa son los sensores resistivos de temperatura conocidos como termistores, el mismo que se aprecian en la figura 3.19.

Ventaja

- Mide la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura.

Desventaja

- Para cada rango de temperatura se requiere un termistor, lo que haría difícil la programación en el arduino y al requerirse varios termistores el costo aumenta.
- Son para temperaturas específicas, no programables



Figura 3.19. Termistores

Fuente: Resistencias electrónicas,(s.f.). Recuperado el 21 de septiembre de 2015 de http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena4/4q2_contenidos_2c2.htm

3.8.1.2. Alternativa 2

Esta alternativa es compatible con el arduino y son los sensores de temperatura conocidos como termocupla. En la figura 3.20 se observa un ejemplar.

Ventaja

- Posee elevados rangos para la medición de temperatura, en este caso se utilizará una termocupla tipo k de 0 a 400 °C

Desventaja

- Tiene un costo parcialmente elevado.



Figura 3.20. Termocupla tipo k de 0 a 400 °C

Fuente: Sonda termocupla tipo K, (s.f.). Recuperado el 21 de septiembre de 2015 de http://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-407396286-sonda-termocupla-tipo-k-0-400c-ideal-arduino-pic-etc-_JM.

3.8.2. Encender el horno (fuente de energía, luz y ventilador) y controlar el tiempo

Para que el equipo pueda funcionar requiere de un sistema de encendido, sistema que se conjuga en el panel de control.

Una vez que el mega arduino está conectado al sensor de la cámara de cocción el equipo requiere de un dispositivo que nos permita ingresar los requerimientos del

usuario, es decir la temperatura y el tiempo de cocción, para esto se cuenta con varias alternativas.

3.8.2.1. Alternativa 1

Como primera alternativa contamos con la perilla timer que será la que nos dará la pauta de encendido; perilla para determinar las funciones de cocción, la perilla que permite el ingreso de la temperatura de cocción y la perilla de encendido y apagado de luz y ventilador, estos dispositivos permitirán ingresar los datos que requiere el usuario. En la figura 3.21 se observa un modelo de perillas.

Ventaja

- El usuario ingresa sus requerimientos de forma manual y sin complicaciones.
- Su precio es competitivo.

Desventaja

- Ecuador no produce estos dispositivos.
- No ofrece innovación al equipo terminado.

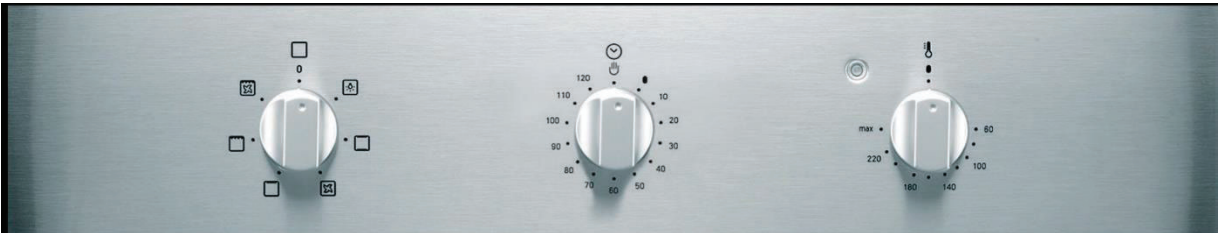


Figura 3.21. Perillas de encendido manual

Fuente: *Perillas timer/luz de encendido doméstico* . (s.f.). Recuperado el 23 de septiembre de 2015 de http://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-571613187-perillas-timer-luz-encendido-domec-_JM

3.8.2.2. Alternativa 2

En esta alternativa se presenta un panel digital, donde el usuario ingresa sus requerimientos de forma táctil. En la figura 3.22 se puede observar un ejemplo.

Ventaja

- Ofrece innovación y modernidad al equipo
- La programación se puede realizar en Ecuador, brindando confort al traer las opciones en español.

Desventaja

- Costos parcialmente elevados, pues es una tecnología que aún no es totalmente ecuatoriana.
- Es de uso delicado, pues si entra en contacto con líquidos o cambios bruscos de temperatura el panel podría dañarse de forma permanente.



Figura 3.22. Panel digital

Fuente: GE Appliances . (s.f.). Recuperado el 23 de septiembre de 2015 de <http://esgeappliances.convertlanguage.com/sdproducts/AppIProducts/Dispatcher?REQUEST=SpecPage&Sku=CT9050SHSS>

3.8.3. Cableado eléctrico

Para poder realizar las instalaciones eléctricas se utiliza conductores metálicos, conocidos normalmente como cables, que están formados por varios hilos de cobre.

En el horno se utilizarán diferentes tipos de cables entre los que tenemos cableado para arduino que se muestran en la figura 3.23 y los conductores metálicos para energizar todo el sistema, en la figura 3.24 se muestran ejemplos de este tipo de conductores.

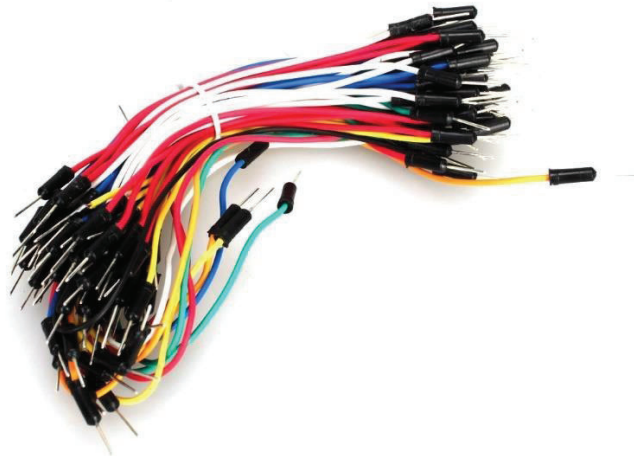


Figura 3.23. Cables Para Protoboard O Arduino Electrónica

Fuente: Cables Para Protoboard O Arduino Electrónica. (s.f.). Recuperado el 23 de septiembre de 2015 de http://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-407665931-juego-de-65-cables-para-protoboard-o-arduino-electronica-_JM

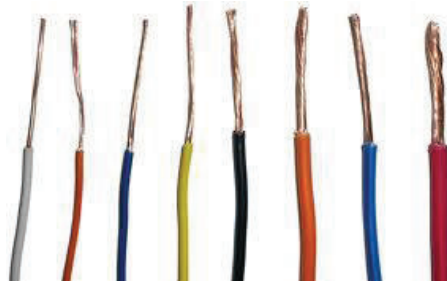


Figura 3.24. Conductores eléctricos

Fuente: Conductores eléctricos. (s.f.). Recuperado el 23 de septiembre de 2015 de <http://instalaciones-electricas.wikispaces.com/Conductores+El%C3%A9ctricos>.

3.8.4. Energizar todo el sistema (ventilador, panel de control, luz led, resistencia)

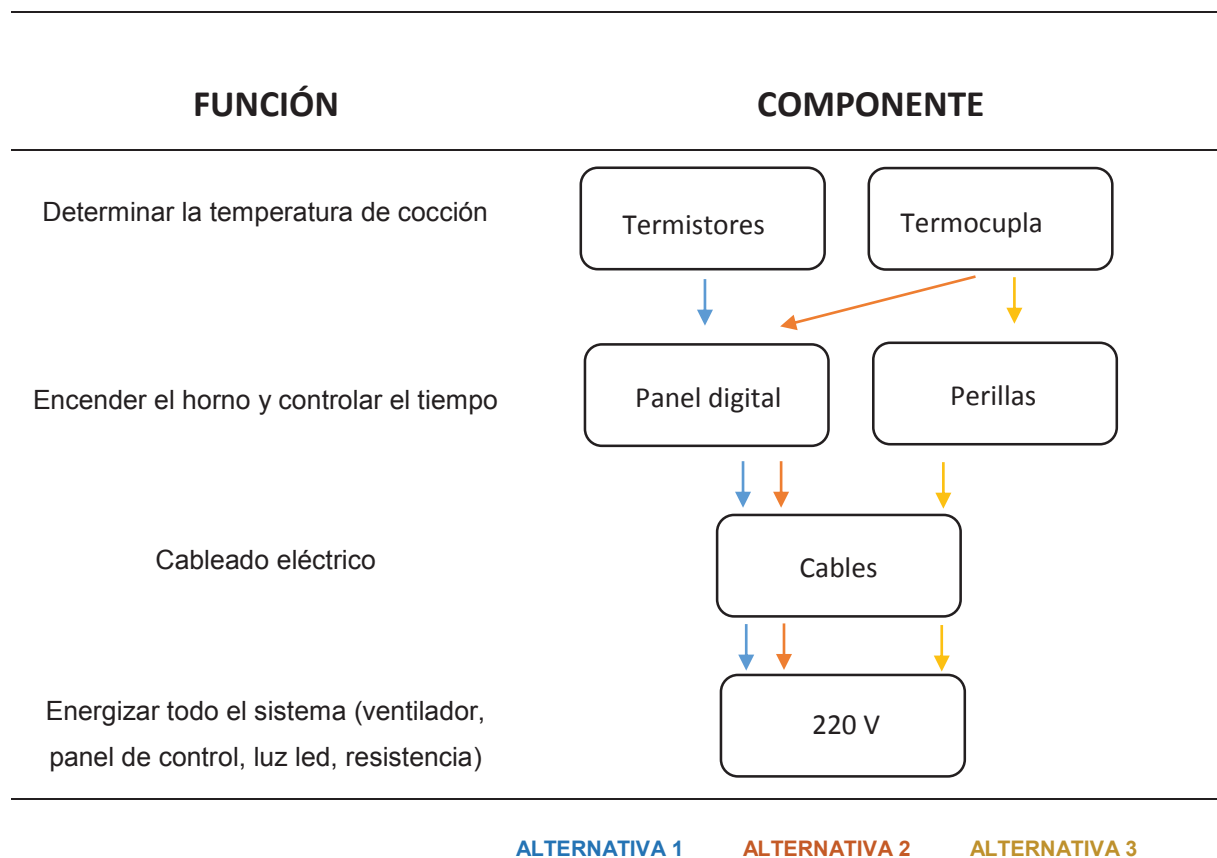
El horno puede ser energizado de una fuente eléctrica de 220 V o de 110 V, Ecuador actualmente está cambiando su sistema de alimentación de 110 V a 220 V, es por esta razón y a favor del cambio de la matriz energética en horno trabajará con un voltaje de 220 V.

3.8.5. Alternativas de módulos

Para llegar a alternativas favorables, partiendo de las necesidades de cada función, se han planteado soluciones; los mismo que al combinarse factiblemente entre sí generan alternativas.

En la tabla 3.13 se observan las alternativas que se presentan para el módulo 4.

Tabla 3.13 Tabla de formulación de alternativas para el módulo 4



Fuente: Propia

Alternativa 1: Se presenta un diseño controlado por una tarjeta mega arduino las cual receipta señales a través de un panel digital y usa termistores como sensores, se conectan entre sí por medio de cableado y es energizada a 220V. En la figura 3.25 se observa el modelo con un panel digital.

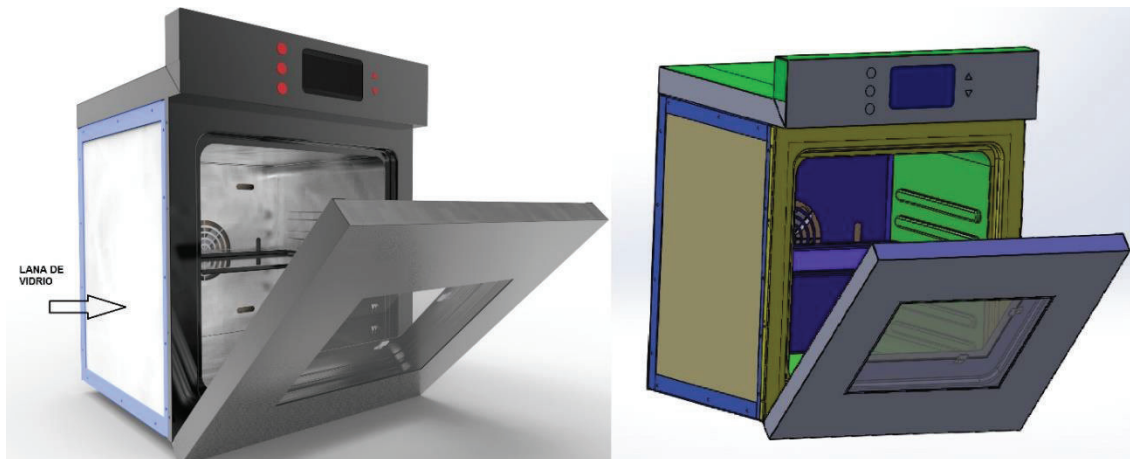


Figura 3.25. Panel de control digital

Fuente: Propia

Alternativa 2: Se presenta un diseño controlado por una tarjeta mega arduino las cual receipta señales a través de un panel digital y usa termocuplas como sensores, se conectan entre sí por medio de cableado y es energizada a 220V. En la figura 3.25 se observa un ejemplo de panel digital.

Alternativa 3: Se presenta un diseño controlado por perillas, las cuales usan como sensores a termocuplas, se conectan entre sí por medio de cableado y es energizada a 220V. En la figura 3.26 se observa un ejemplo de control con perillas.

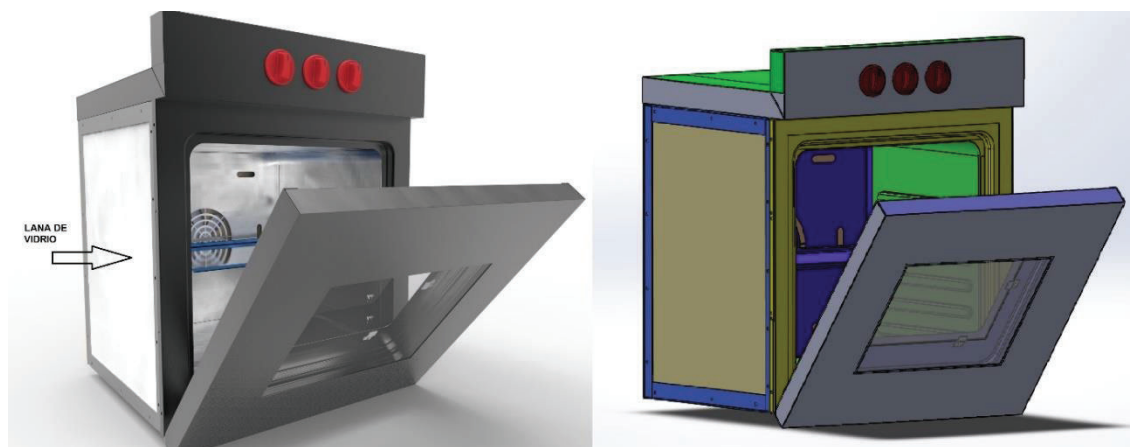


Figura 3.26. Panel de control con perillas

Fuente: Propia

3.8.6. valuación y selección de los módulos

Con el fin de determinar el modelo más conveniente se realiza una selección de alternativas utilizando el método original de criterios corregidos.

Se listan a continuación las valoraciones más relevantes:

- **Facilidad de manejo:** Se califica el sistema con el que el usuario se siente más confiado y cómodo al usar.
- **Facilidad de construcción:** Se analiza la viabilidad de construcción de los paneles en Ecuador.
- **Costos:** Se analiza el equipo que presente el menor costo de construcción.
- **Estética e innovación:** Se analiza lo atractivo que puede ser el producto y si ofrece innovación para el usuario.

La evaluación para la ponderación de los criterios se observa en la tabla 3.14.

Tabla 3.14. Matriz de valoraciones

	Facilidad de manejo	Facilidad de construcción	Costo	Estética e innovación	$\Sigma+1$	Ponderación
Facilidad de manejo		0,5	0	0	1,5	0,15
Facilidad de construcción	0,5		0,5	0	2	0,20
Costo	1	0,5		0,5	3	0,30
Estética e innovación	1	1	0,5		3,5	0,35
SUMA					10	1,00
Estética e innovación > Costo > Facilidad de construcción > Facilidad de manejo						

Fuente: Propia

Según la matriz de ponderación se considera que, a la estética e innovación como la valoración más elevada, seguida de la del costo, facilidad de construcción y de la facilidad de manejo.

En las tablas 3.15, 3.16, 3.17 y 3.18 se evalúan las soluciones frente a las valoraciones.

Tabla 3.15 Tabla de valoración de soluciones frente a la facilidad de manejo.

Facilidad de manejo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación	
Solución 1		0,5	1	2,5	0,42	
Solución 2	0,5		1	2,5	0,42	
Solución 3	0	0		1	0,17	
SUMA					6	1,00
SOLUCIÓN 3 > SOLUCIÓN 1 = SOLUCIÓN 2						

Fuente: Propia

Tabla 3.16 Tabla de valoración de soluciones frente a la facilidad de construcción.

Facilidad de construcción	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación	
Solución 1		0	0	1	0,17	
Solución 2	1		0	2	0,33	
Solución 3	1	1		3	0,50	
SUMA					6	1,00
SOLUCIÓN 3>SOLUCIÓN 2>SOLUCIÓN 4>SOLUCIÓN 1						

Fuente: Propia

Tabla 3.17 Tabla de valoración de soluciones frente al costo.

Costo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación	
Solución 1		0	0	1	0,17	
Solución 2	1		0	2	0,33	
Solución 3	1	1		3	0,50	
SUMA					6	1,00
SOLUCIÓN 3>SOLUCIÓN 2>SOLUCIÓN 4>SOLUCIÓN 1						

Fuente: Propia

Tabla 3.18 Tabla de valoración de soluciones frente a la estética e innovación.

Estética e innovación	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación	
Solución 1		0,5	1	2,5	0,42	
Solución 2	0,5		1	2,5	0,42	
Solución 3	0	0		1	0,17	
SUMA					6	1,00
SOLUCIÓN 3>SOLUCIÓN 2>SOLUCIÓN 4>SOLUCIÓN 1						

Fuente: Propia

En la tabla 3.19 se observa la matriz de evaluación final, donde se valoran las soluciones con relación a las especificaciones.

Tabla 3.19 Tabla de conclusión para el módulo 4.

Conclusiones	Facilidad de manejo	Facilidad de construcción	Costo	Estética e innovación	$\Sigma+1$	Prioridad
Solución 1	0,06	0,033	0,050	0,146	0,29	3
Solución 2	0,06	0,067	0,100	0,146	0,38	2
Solución 3	0,03	0,100	0,150	0,058	0,33	1
	SUMA				1,00	
SOLUCIÓN 2>SOLUCIÓN 3>SOLUCIÓN 1						

Fuente: Propia

Según la tabla 3.13 la opción con mayor facilidad de manejo, facilidad de construcción de mejor costo y que presenta mayor innovación y estética es la alternativa 2, es decir un panel de control digital con termocuplas.

CAPÍTULO 4

4. CÁLCULO, SELECCIÓN Y DIMENSIÓN DE COMPONENTES

En el presente capítulo se realiza los cálculos correspondientes a cada uno de los elementos mecánicos del horno, para el dimensionamiento y selección.

4.1. DISEÑO ESTRUCTURAL

A continuación, se desarrollan los cálculos necesarios para el diseño estructural de un horno.

En la figura 4.1 se presenta las dimensiones para el diseño del horno eléctrico.

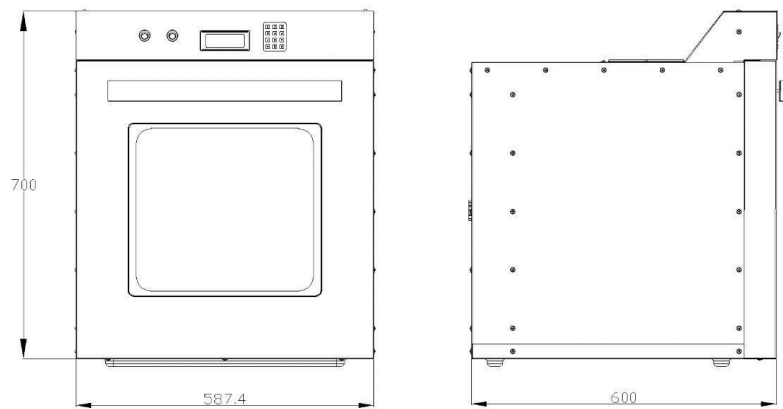


Figura 4.1. Dimensiones para el diseño del horno eléctrico

Fuente: Propia

4.1.1. Bandeja

La bandeja, es el elemento encargado de brindar el soporte al alimento durante la cocción, en esta sección se determina el espesor ideal para que la bandeja trabaje adecuadamente.

De entre los alimentos más comunes que se preparan se encuentran las masas y las carnes, como objeto de estudio estructural se considera al alimento de mayor masa que con frecuencia se hornea en la cocina ecuatoriana que en este caso es el pavo,

en la tabla 4.1, se puede observar la masa que alcanza un pavo en estado adulto de acuerdo a la raza.

Tabla 4.1 Masa estándar de pavos de acuerdo a las razas en estado adulto

Raza de pavo	Masa estándar en estado adulto [kg]
Bronceado	14
Holandés blanco	10,5
Borbón canela	11,5
Beltsville blanco	9,5

Fuente: Bonilla Bolaños , O., & Díaz Sánchez, O. (1992). *Elementos básicos para el manejo de animales de granja*. San José, Costa rica: Universidad Estatal a distancia.

La masa del pavo seleccionada de la tabla 4.1 es la correspondiente a la raza bronceado $m = 14 \text{ kg}$, debido a que es la más grande.

En la mayoría de los casos el pavo se hornea con algunos otros alimentos adicionales, como frutas, papas, etc. Por tal motivo se considera que la masa total máxima de diseño es 15 kg .

Tabla 4.2 Datos iniciales para el cálculo de la bandeja del horno

Masa (m) [kg]	Peso pavo (w) [N]	Largo bandeja (a) [m]	Ancho bandeja (b) [m]	Material de la bandeja	Esfuerzo de fluencia AISI 304 (σ_y) [MPa]	Módulo de elasticidad AISI 304 (E) [GPa]
15	147,15	0,45	0,35	AISI 304	310	200

Fuente: Propia, SUMITEC. (10 de 11 de 2015). Obtenido de <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%20304.pdf>

Se selecciona el acero AISI 304, para la fabricación de la bandeja, porque es un acero resistente a la corrosión, sus propiedades mecánicas se mantienen a altas temperaturas ($700^\circ\text{C} - 1100^\circ\text{C}$) y al ser un acero austenítico es fácilmente conformable, en la tabla 4.2 se muestran sus propiedades.

4.1.1.1. Cálculo del espesor mínimo y la deflexión máxima en la bandeja

El diseño de la bandeja se hace considerando que el elemento es una placa delgada.

La bandeja tiene el borde conformado mediante embutición, lo que brinda una rigidez, para motivos de diseño se considera que el borde conformado actúa como apoyos simples en los cuatro lados, como se observa en la figura 4.2.

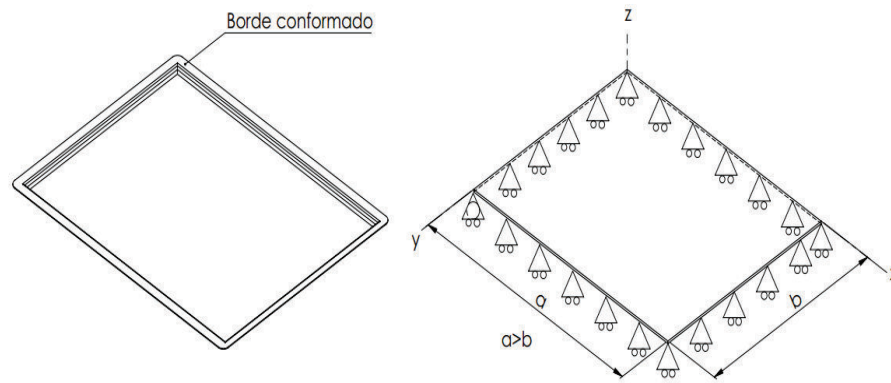


Figura 4.2. Bandeja y placa delgada simplemente apoyada en sus cuatro lados

Fuente: Propia

El peso del alimento sobre la superficie de la bandeja, produce un esfuerzo normal, para determinar su valor se usa la ecuación 1, citada en el capítulo 2:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{w}{A} \quad [Pa] \quad [1]$$

Siendo el área de la bandeja:

$$A = a \times b \quad [m^2]$$

$$\sigma = 934,29 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Para determinar el esfuerzo producido en la dirección del lado a más grande de la bandeja, se usa la ecuación 2.

$$\sigma_a = - \frac{pb^2(0,225 + 0,382\alpha^2 - 0,320\alpha^3)}{t^2} \quad [MPa] \quad [2]$$

Se determinar el valor de la constante de diseño α :

$$\alpha = \frac{b}{a} = 0,778 \quad [3]$$

Despejando t en la ecuación 3, se tiene:

$$t = \sqrt{\frac{pb^2(0,225 + 0,382\alpha^2 - 0,320\alpha^3)}{\sigma_a}} \quad [m]$$

Donde σ_a será igual a σ_{perm} , y el esfuerzo permisible se calcula usando la ecuación 6, el factor de seguridad n para este caso se toma un valor de $n = 2$, ya que no hay un valor de diseño tabulado en alguna norma técnica.

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{n} = 155 \quad [MPa] \quad [6]$$

Reemplazando valores, se tiene un valor de espesor de:

$$t = 0,475 \quad [mm]$$

El esfuerzo producido en la dirección del lado más corto b y en donde se produce el esfuerzo máximo, se determina usando la ecuación 4.

$$\sigma_{max} = \sigma_b = -\frac{\beta pb^2}{t^2} \quad [MPa] \quad [4]$$

Se encuentra las constantes β y γ correspondientes la relación a/b , en la tabla 4.3, se tiene los valores de las constantes para placas simplemente apoyadas en sus bordes.

$$\frac{a}{b} = 1,286$$

Tabla 4.3 Constantes β y γ para placas simplemente apoyadas en sus bordes

$\frac{a}{b}$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	∞
β	0,2874	0,3318	0,3756	0,4158	0,4518	0,4542	0,5172	0,5448	0,5688	0,591	0,6102	0,75
γ	0,0443	0,053	0,0616	0,0697	0,077	0,0843	0,0906	0,0964	0,1017	0,1064	0,1106	0,1422

Fuente: Omer W., B. (1991). Design of welded structures. Cleveland - Ohio: James F. Lincoln Arc Welding Foundation.

$$\beta = 0,4053$$

$$\gamma = 0,0676$$

Despejando t de la ecuación 4 y reemplazando σ_{max} por σ_{perm} , se tiene:

$$t = \sqrt{\frac{\beta p b^2}{\sigma_{perm}}} [m]$$

$$t = 0,55 [mm]$$

Entonces el valor del espesor mínimo requerido es $t = 0,55 \text{ mm}$, sin embargo, en el mercado nacional las bandejas tienen un espesor de $t = 0,7 \text{ mm}$, por lo que se usa este valor de espesor.

Se determina la deflexión máxima producida en la bandeja, para un valor de espesor $t = 0,7 \text{ mm}$, usando la ecuación 5.

$$\Delta_{max} = -\frac{0,1422 p b^4}{E t^3 (1 + 2,21 \alpha^3)} [m] \quad [5]$$

Reemplazando valores, se tiene:

$$\Delta_{max} = 14,2 [mm]$$

La deflexión máxima que se produce en la bandeja por acción de una masa $m = 15 \text{ kg}$, es de $\Delta_{max} = 14,2 \text{ mm}$.

Con el valor del espesor seleccionado se calcula, el esfuerzo máximo producido en la placa por la acción de la carga, usando la ecuación 4.

$$\sigma_{max} = -\frac{\beta p b^2}{t^2} [Pa] \quad [4]$$

$$\sigma_{max} = 94,67 [MPa]$$

4.1.1.2. Dilatación térmica en la bandeja

Para determinar el cambio de longitud de la bandeja en la dirección en la que se tiene los apoyos en las paredes laterales del horno, como se muestra en la figura 4.3, se usa la ecuación 7 para el cálculo.



Figura 4.3. Bandeja apoyada en las paredes del horno

Fuente: Propia

$$\delta = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T [m] \quad [7]$$

Tabla 4.4 Condiciones iniciales para el cálculo de la dilatación térmica de la bandeja

Longitud inicial bandeja (l_0) [m]	Coefficiente de dilatación para el acero (α) [$1/^\circ\text{C}$]	Temperatura inicial (T_0) [$^\circ\text{C}$]	Temperatura final (T_f) [$^\circ\text{C}$]
0,45	1,20E-05	20	250

Fuente: *Patología + Rehabilitación + Construcción* . (s.f), Recuperado el 31 de enero de 2016 de: <http://www.patologiasconstruccion.net/2013/09/coeficiente-de-dilatacion-termica/>

Se toma la longitud más larga de la bandeja que es $a = 450 \text{ mm}$ y es la longitud que involucra los lados que se apoyan en los bordes de las paredes del horno, en la tabla 4.4 se muestran las condiciones iniciales para el cálculo de la dilatación térmica de la bandeja.

$$\delta = 1,242 \text{ mm}$$

La bandeja tiene una elongación $\delta = 1,24 \text{ mm}$, que debe ser considerada en el dimensionamiento de las paredes.

4.1.1.3. Simulación de la bandeja

Es necesario respaldar el valor calculado, con un análisis por elementos finitos, para ello se usa el software Solidworks, versión de prueba, para analizar la bandeja en operación.

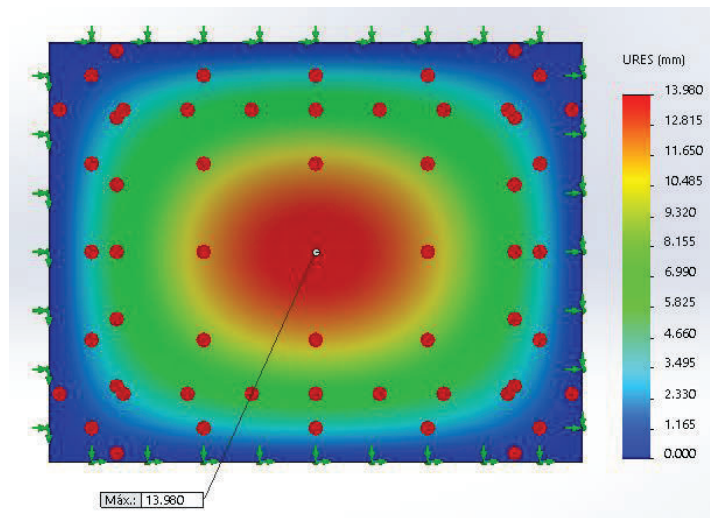


Figura 4.4. Deflexión de la bandeja

Fuente: Propia

Como se puede ver en la figura 4.4, la deflexión máxima ocurre en el centro de la placa, alcanzando un valor de $\Delta_{max} = 13,98[mm]$.

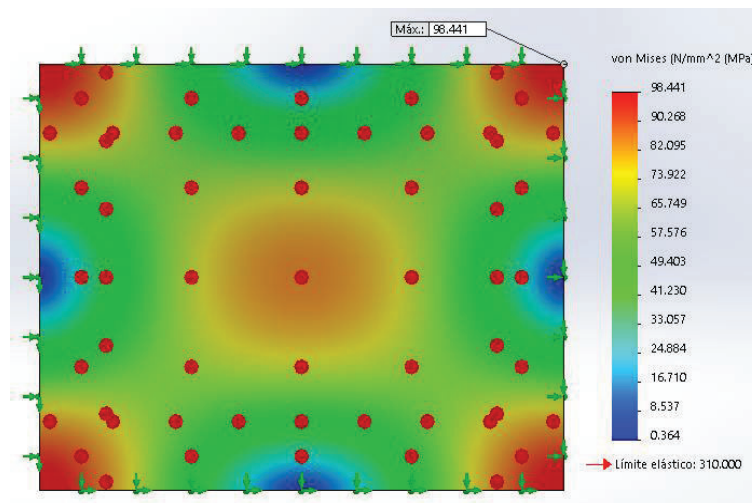


Figura 4.5. Tensiones generadas en la bandeja

Fuente: Propia

En la figura 4.5, se observa que el esfuerzo máximo alcanza un valor de $\sigma_{max} = 98,44[MPa]$, en las esquinas de la placa.

Tabla 4.5 Comparación de resultados obtenidos

Parámetro	Cálculo teórico	Solidworks	%Error
Desplazamiento máximo [mm]	14,2	13,98	1,55
Esfuerzo máximo [MPa]	94,67	98,44	3,98

Fuente: Propia

En la tabla 4.5, se tiene la comparación de resultados obtenidos mediante el cálculo teórico y la simulación, y el error entre estos dos métodos es pequeño, por lo que se puede decir que el cálculo de diseño es válido.

4.1.2. Paredes

Las paredes interiores del horno, también soportan y transmiten la carga hacia los perfiles estructurales, sin embargo, el elemento crítico sigue siendo la bandeja, puesto la carga de trabajo soporta la bandeja directamente, luego esa carga se divide para cada pared, es decir la magnitud de la carga es menor en cada pared.

Como en el diseño de la bandeja se establece el espesor necesario para que el elemento no falle, en el diseño de la pared se asume el mismo valor = $0,7\text{ mm}$, para validar dicho espesor se realiza una simulación al igual que con la bandeja.

La deflexión máxima ocurre cuando la carga se aplica en la cuarta cara de apoyo contando desde arriba hacia abajo.

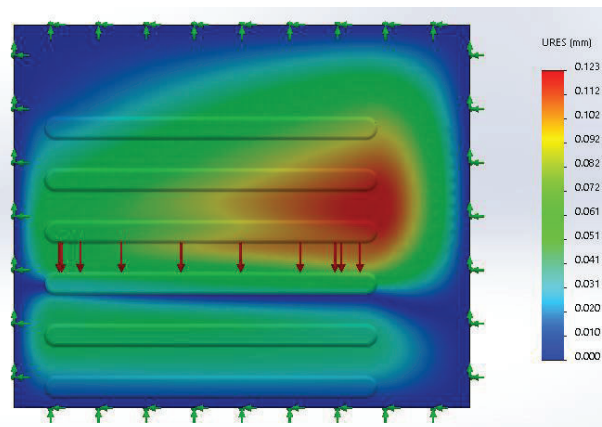


Figura 4.6. Deflexión máxima en paredes

Fuente: Propia

En la figura 4.6, se observa la deflexión máxima que se produce, y tiene un valor de $\Delta_{max} = 0,12[mm]$

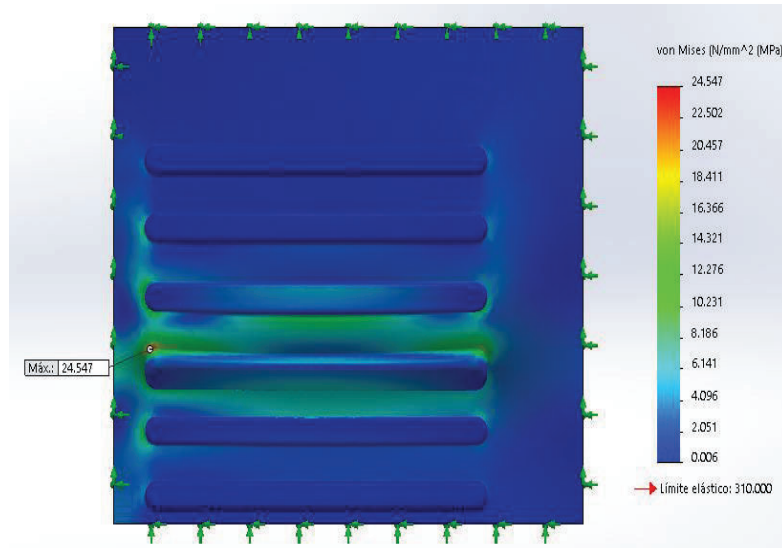


Figura 4.7. Esfuerzo máximo producido en paredes

Fuente: Propia

En la figura 4.7, se observa el esfuerzo máximo que se produce en la pared es $\sigma_{max} = 24,55[MPa]$, considerando que el límite de fluencia del material acero AISI 304 es de $\sigma_y = 310[MPa]$, se puede decir que el espesor del material seleccionado es seguro.

4.2. DISEÑO TÉRMICO DEL HORNO

En esta sección es necesario hacer un balance de energía, para determinar la cantidad de energía que se debe suministrar al sistema mediante las resistencias eléctricas, además de dimensionar los distintos componentes del horno.

4.2.1. Balance de energía

En la figura 4.8, se observa el volumen de control en el que se hace el balance de energía, Para ello se usa la ecuación 8.

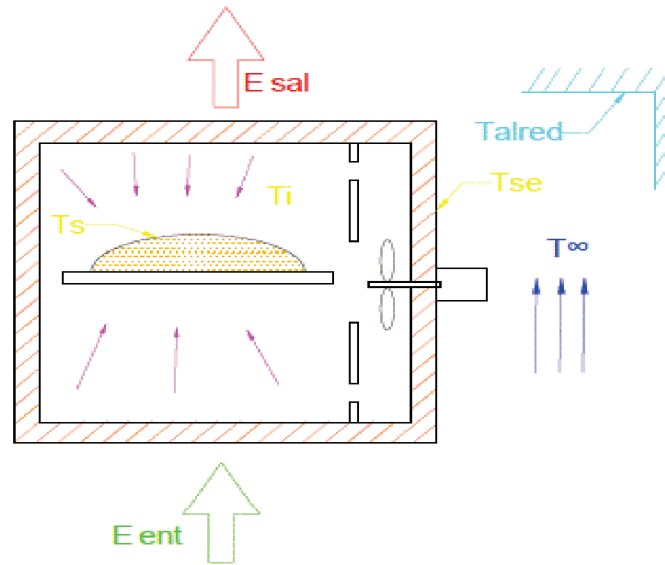


Figura 4.8. Volumen de control, para hacer el balance de energía

Fuente: Propia

$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sal} [W] \quad [8]$$

$$\dot{Q}_{elec} + \dot{Q}_{a_{sen,ent}} + \dot{Q}_{ad,ent} + \dot{Q}_{exo} = \dot{Q}_{util} + \dot{Q}_{a_{sen,lat,sal}} + \dot{Q}_{ad,sal} + \dot{Q}_{perd} + \dot{Q}_{end} \quad [32]$$

Calor que entra:

\dot{Q}_{elec} : Calor entregado por la resistencia eléctrica, [W]

$\dot{Q}_{a_{sen,ent}}$: Calor sensible del alimento al entrar al horno, [W]

$\dot{Q}_{ad,ent}$: Calor adicional suministrado por equipos auxiliares, bombas, ventiladores o compresores, [W]

\dot{Q}_{exo} : Calor desprendido durante las reacciones exotérmicas, [W]

Calor que sale:

\dot{Q}_{util} : Calor entregado al alimento para la cocción, [W]

$\dot{Q}_{a_{sen,lat,sal}}$: Calor sensible y latente del alimento al salir del horno, [W]

$\dot{Q}_{ad,sal}$: Calor adicional necesario para calentar la bandeja y calor para calentar el aire de la cámara, [W]

\dot{Q}_{perd} : Pérdidas de calor por radiación y convección al ambiente, [W]

\dot{Q}_{end} : Calor absorbido durante las reacciones endotérmicas, [W]

Para poder realizar el cálculo térmico se considera la cocción de un pastel, debido a que en el ambiente culinario los hornos son utilizados generalmente, para la cocción de carnes y masas, siendo las masas (biscochos, pastas, pan, pizza, etc.), uno de los alimentos que con mayor frecuencia que son horneados; considerando también que es uno de los alimentos donde mayor reacciones endotérmicas y exotérmicas se produce.

El horno se diseñará térmicamente para la cocción de un pastel con las características que se muestran en la tabla 4.6:

Tabla 4.6 Dimensiones del alimento a hornear.

Alimento de cocción	Cantidad	Peso aproximado [Kg]	Diámetro [m]
Pastel	1	3	0,35

Fuente: Medidas y porciones de tortas. (09 de febrero de 2013). Recuperado el 12 de febrero de 2016 de Club de repostería: <http://clubdereposteria.com/medidas-y-porciones-de-tortas-continuacion/>

4.2.2. Calor sensible del alimento al entrar al horno

En algunos alimentos es necesario un precalentamiento antes de entrar al horno, para determinar el calor sensible producido en el alimento por el precalentamiento, se usa la ecuación 9.

$$\dot{Q}_{a_{sen,ent}} = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{t} [W] \quad [9]$$

$$\dot{Q}_{a_{sen,ent}} = 0 W$$

Como no se requiere precalentar el alimento para este caso, el valor del calor sensible es cero.

4.2.3. Calor adicional de entrada

El calor adicional de entrada, por la operación del ventilador, se determina usando la ecuación 11, que en este caso se cuenta solo con la presencia de un ventilador.

$$\dot{Q}_{ad,ent} = Pot_{ventilador} [W] \quad [11]$$

Ventilador:

Para poder determinar la potencia del ventilador, es necesario poder determinar el caudal con el que va a trabajar el horno, para lo cual utilizaremos la ecuación 12.

$$Q = V * A \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad [12]$$

Para poder determinar el caudal es necesario conocer la velocidad a la que trabaja un ventilador y el área del mismo.

La velocidad a la que trabaja el ventilador en un horno se encuentra entre 0.2 y 1.9 [m/s], (Carson , Willix, & North, 17 de febrero de 2005).

El área de un ventilador depende de su diámetro, para esto es necesario conocer las dimensiones que poseen estos elementos; los ventiladores para hornos domésticos de mayor comercialización tienen un diámetro de 160 [mm]; (Ventilators, 2015).

Tabla 4.7 Calculo de caudal.

Área (A) [m ²]	Velocidad (V) [m/s]	Caudal (Q) [m ³ /h]
0.0201	1.9	137.52

Fuente: Carson , J., Willix, J., & North, M., (17 de febrero de 2005). Measurements of heat transfer coefficients within convection ovens; Ventilators, (s.f.). Recuperado el 13 de Septiembre de 2015 de http://issuu.com/aaco/docs/aaco_ventilators.

En la tabla 4.7 se muestra el valor mínimo de caudal requerido para un horno doméstico, que es igual a 137.52 $\left[\frac{m^3}{h} \right]$; en el **Anexo B** se selecciona un ventilador de 141 $\left[\frac{m^3}{h} \right]$, el cuál es el caudal más próximo y con una potencia de 53 W.

$$\dot{Q}_{ad,ent} = 53 \text{ W}$$

4.2.4. Calor por reacciones exotérmicas

Para determinar el calor desprendido del alimento, por reacciones exotérmicas se usa la ecuación 13 y en la tabla 4.8 se encuentran las propiedades químicas de un pastel.

$$\dot{Q}_{exo} = \frac{n}{t} \cdot m_a \cdot h_{ferm} \cdot \eta_{azuc} [W] \quad [13]$$

Tabla 4.8 Propiedades químicas de un pastel.

Cantidad de pasteles (n) [— — —]	Tiempo de cocción (t) [s]	Masa del pastel (m _a) [kg]	Entalpía de fermentación (h _{ferm}) [kJ/kg]	Concentración de azúcar (η _{azuc}) [%]
1	3600	3	226	6

Fuente: Propia, Carzino, M. C. (junio de 2006). Projeto e Análise para dimensionamento automático de fornos para cozimento de pães e biscoitos. Curitiba, Brasil.

$$Q_{exo} = 11,3 \text{ W}$$

4.2.5. Calor entregado al alimento para la cocción

El calor entregado al alimento para que se produzca la cocción, es mediante convección y radiación.

$$\dot{Q}_{util} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad} [W] \quad [33]$$

4.2.5.1. Calor entregado por radiación

Para determinar el calor entregado por radiación hacia el alimento para la cocción, se usa la ecuación 17 y en la tabla 4.9 se muestran los datos para el cálculo.

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot (T_i^4 - T_s^4) \quad [17]$$

Tabla 4.9 Propiedades del acero AISI 304 y condiciones iniciales en la cámara del horno

Material radiante	Emisividad (ϵ)	Constante (σ) [W/m ² K ⁴]	Area superficial (A_s) [m ²]	Temperatura superficial (T_s) [K]	Temperatura cámara (T_i) [K]
Acero Inox. 304	0,3	5,67E-08	1,215	293,15	523,15

Fuente: Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw-Hill.

$$\dot{Q}_{rad} = 1395,42 \text{ W}$$

4.2.5.2. Calor entregado por convección forzada

Para calcular el calor por convección forzada que se entrega al alimento se usa la ecuación 18, sin embargo, primero es necesario determinar el coeficiente de convección forzada, la velocidad del fluido está en el rango de 0.2 a 1.9 m/s, (Carson, Willix, & North, 17 de febrero de 2005).

$$\dot{Q}_{conv} = h_{i_{forz.}} A_s \cdot (T_i - T_{\infty}) \text{ [W]} \quad \text{[18]}$$

Para poder calcular el calor entregado por convección forzada, en las tablas 4.10 y 4.11 se muestran las propiedades del aire a la temperatura máxima de funcionamiento del horno y a la temperatura de película.

Ejemplo de cálculo:

Tabla 4.10 Propiedades del aire a $T_i = 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$, en la cámara del horno

Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]	Densidad (ρ) [kg/m ³]	Calor específico (C_p) [J/kg.K]	Conductividad térmica (K) [W/m.K]	Difusividad térmica (α) [m ² /s ²]	Viscosidad dinámica (μ_i) [kg/m.s]	Viscosidad cinemática (ν) [m ² /s]	Numero de prandtl [-----]
250	0,7102	1028	0,03941	5,422E-05	2,669E-05	3,773E-05	0,696

Fuente: Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw-Hill.

Tabla 4.11 Propiedades del aire a $T_f = 135\text{ }^\circ\text{C}$, en la cámara del horno

Temperatura [$^\circ\text{C}$]	Densidad (ρ) [kg/m^3]	Calor específico (C_p) [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$]	Conductividad térmica (K) [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]	Difusividad térmica (α) [m^2/s^2]	Viscosidad dinámica (μ_f) [$\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$]	Viscosidad cinemática (ν) [m^2/s]	Numero de prandtl [-----]
135	0,865075	1012,5	0,0333925	3,8148E-05	2,325E-05	2,689E-05	0,7049

Fuente: Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). Transferencia de calor y masa. México: McGraw-Hill.

Se determina el número de Reynolds usando la ecuación 21.

$$Re = \frac{vL_c}{\nu} \quad [21]$$

Para éste cálculo la velocidad del aire es $v = 1.9\text{ m/s}$, pero se debe hacer una iteración para el rango de valores entre 0.2 y 1.9 m/s , que se menciona anteriormente.

El valor de la viscosidad cinemática ν , es a $T_f = 135\text{ }^\circ\text{C}$, y la longitud corregida es correspondiente al diámetro de del pastel.

$$Re = 24728,08$$

Luego de calcular el número de Reynolds, se determina el número de Nusselt, para ello se considera que el pastel es un cilindro, y se usan las ecuaciones 22 y 23 dependiendo del valor de Reynolds, en la iteración de velocidades, para el ejemplo de cálculo utilizamos la ecuación 23.

$$Nu = 0.193 * Re^{0.618} Pr^{1/3} \quad [23]$$

$$Nu = 89,11$$

Calculado el número de Nusselt, se determina el coeficiente de convección en el interior del horno usando la ecuación 19.

$$Nu = \frac{hi_{forz} \cdot L_c}{K} \quad [19]$$

Despejando hi_{forz} y reemplazando valores, se tiene:

$$hi_{forz} = 10,04 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

$$Q_{conv_{forz}} = 444,12 \text{ W}$$

Se calcula el calor por convección natural usando la ecuación 18, con la finalidad de comparar los valores entre la convección natural y la convección forzada.

$$\dot{Q}_{conv_{nat}} = h_{i_{nat}} A_s (T_i - T_{\infty}) [W] \quad [18]$$

$$\dot{Q}_{conv_{nat}} = 86,59 \text{ W}$$

Como se puede observar, el valor del calor por convección forzada es mucho mayor que el valor por convección natural, para una velocidad del aire de $v = 1.9 \text{ m/s}$, En la tabla 4.12, se observa los valores obtenidos para el rango de velocidad de $0.2 \text{ a } 1.9 \text{ m/s}$.

Tabla 4.12 Calor por convección forzada en función de la velocidad del aire en el horno

CONVECCION FORZADA		
Velocidad [m/s]	$h_{i_{forz}}$ [W/m ² K]	\dot{Q} [W]
0,2	2,67	118,299
0,6	4,92	217,836
1	6,75	298,698
1,4	8,31	367,739
1,9	10,04	444,122

Fuente: Propia

En el gráfico 4.1, se observa que, si se usa convección forzada para el diseño, con una velocidad de $v = 1.9 \text{ m/s}$, se alcanza 31,8 % del calor por radiación, y se mejora hasta 375,42 % en comparación con el calor por convección natural.

Considerando las dimensiones del horno, se toma como valor de diseño la velocidad del aire de $v = 1.9 \text{ m/s}$, por las ventajas ya mencionadas.

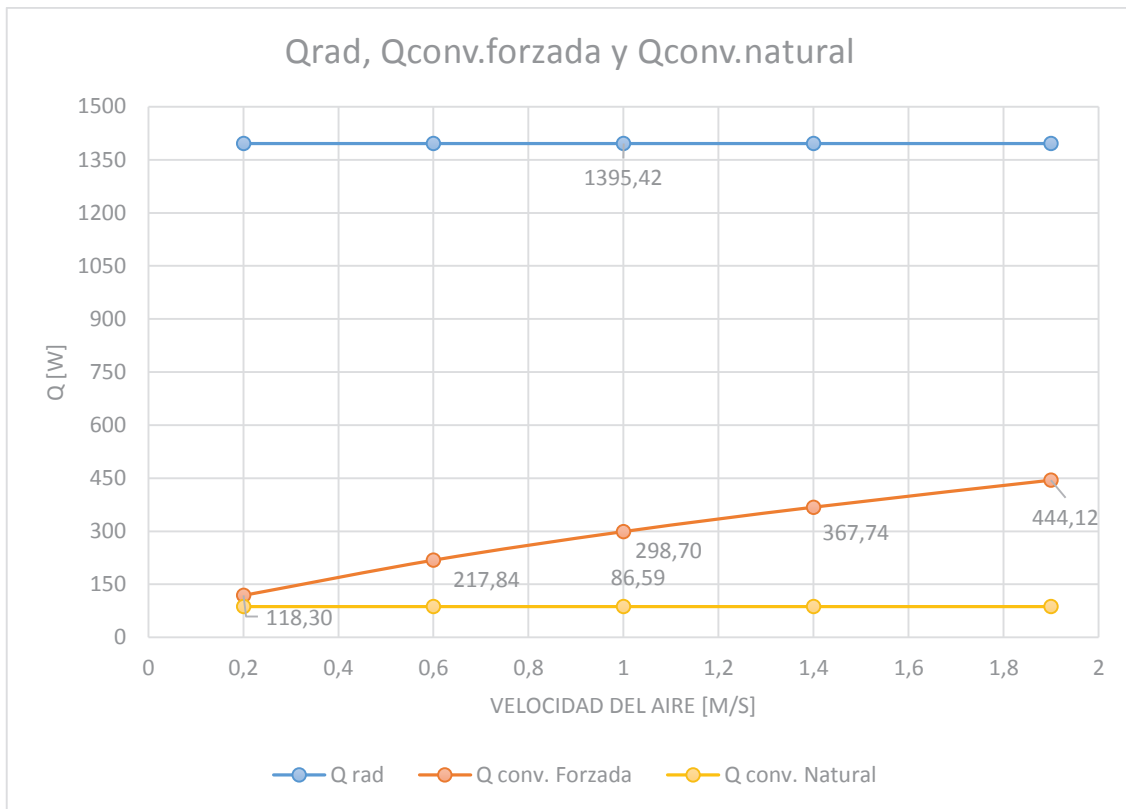


Gráfico 4.1. Curvas de calor por radiación, convección natural y forzada

Fuente: Propia

Sumando el calor por convección forzada y calor por radiación de tiene:

$$\dot{Q}_{util} = 1839,54 \text{ W}$$

4.2.6. Calor sensible y latente del alimento al salir del horno

Durante la cocción, los alimentos elevan su temperatura y en algunos casos se produce un cambio de fase, por tal razón se tiene:

$$\dot{Q}_{a_{sen,lat,sal}} = \dot{Q}_{sen} + \dot{Q}_{lat} \text{ [W]} \quad [34]$$

Para determinar el calor latente del alimento luego de la cocción, se usa la ecuación 10.

$$\dot{Q}_{lat} = \frac{m \cdot C_{p_{latente}} \cdot \Delta T}{t} \text{ [W]} \quad [10]$$

$$\dot{Q}_{lat} = 0 W$$

En el proceso de cocción del pastel, no se produce cambio de fase, por tal razón el valor del calor latente es cero.

Para determinar el calor sensible del alimento luego de la cocción, se utilizará la ecuación 9.

$$\dot{Q}_{sen} = \frac{m_{alimento} \cdot C_{p_{alimento}} \cdot (T_i - T_{\infty})}{t} [W] \quad [9]$$

Tabla 4.13 Propiedades de un pastel y datos de preparación

Cantidad de pasteles	Masa (m) [kg]	Calor específico sensible (C_p) [J/kgK]	Temperatura ambiente (T_{∞}) [$^{\circ}C$]	Temperatura cámara (T_i) [$^{\circ}C$]	Tiempo de cocción [s]
1	3	3100	20	250	3600

Fuente: Ashrae, H. (2006). *Refrigeration*. USA: Ashrae; Bonilla Bolaños, O., & Díaz Sánchez, O. (1992). *Elementos básicos para el manejo de animales de granja*. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a distancia; Miranda Navarro, M. d. (2012). *Lo que he aprendido entre aromas y sabores*. Estados Unidos: Palibrio.

En la tabla 4.13 se encuentran los valores requeridos para el cálculo del calor sensible del alimento.

$$\dot{Q}_{sen} = 594,17 W$$

El calor sensible y latente del alimento al salir del horno, es:

$$\dot{Q}_{a_{sen,lat,sal}} = 594,17 W$$

4.2.7. Calor adicional de salida

La bandeja entra al horno con el alimento, a una temperatura inicial T_{∞} , igual a la temperatura ambiente, necesita absorber calor para calentarse y llegar a una temperatura similar a la temperatura de la cámara, del mismo modo sucede con el aire en el interior de la cámara necesita una cantidad de calor para subir su temperatura.

$$\dot{Q}_{ad,sal} = \dot{Q}_{bandeja} + \dot{Q}_{aire} \quad [35]$$

4.2.7.1. Calor necesario para calentar la bandeja

Para determinar el calor necesario para calentar la bandeja, se usa la ecuación 9, en la tabla 4.14 se encuentran las propiedades del acero AISI 304 y las condiciones de borde.

$$\dot{Q}_{bandeja} = \frac{m_{bandeja} \cdot Cp_{bandeja} \cdot \Delta T}{t} [W] \quad [9]$$

Tabla 4.14 Propiedades de bandeja acero inoxidable AISI 304

Material bandeja	Masa (m) [kg]	Calor específico (Cp) [J/kgK]	Temperatura ambiente (T_{∞}) [°C]	Temperatura cámara (Ti) [°C]	Tiempo de cocción [s]
Acero Inox. 304	0,9	500	20	250	3600

Fuente: Group, I. (s.f.). Tablas técnicas del acero inoxidable. Recuperado el 12 de diciembre de 2015 de <http://data.irestal.com/files/files/2012030204152933979.pdf>. Tramontina. (s.f.). Recuperado el 12 de diciembre de 2015 de Productos para cocina: <http://www.tramontina.com/productos/53226-bandeja-perforada-en-acero-inoxidable>.

$$\dot{Q}_{bandeja} = 28,75 W$$

4.2.7.2. Calor para calentar el aire de la cámara

Para determinar el calor necesario para calentar el aire en el interior de la cámara, se usa la ecuación 9.

$$\dot{Q}_{aire} = \frac{m_{air} \cdot Cp_{air} \cdot \Delta T}{t} [W] \quad [9]$$

Considerando al aire como gas ideal, se usa la ecuación 25, para determinar la masa del aire en el interior de la cámara de cocción del horno, en la tabla 4.15 se muestran las propiedades iniciales para el cálculo.

$$m_{air} = \frac{PV}{RT} [kg] \quad [31]$$

Tabla 4.15 Propiedades iniciales para calcular la masa del aire en la cámara

Presión de la cámara (P) [KPa]	Volumen cámara (V) [m ³]	Constante del gas (R) [kJ/kgK]	Temperatura ambiente (T_{∞}) [K]
71,72	0,125	0,287	293,15

Fuente: Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica*. Mexico: McGraw-Hill. Ecuatoriana, A. e. (s.f). Recuperado el 12 de Diciembre de 2015 de *Reporte del Clima en Quito, Ecuador*. de <http://quito.exa.ec/Current.htm>.

$$m_{air} = 0,1066 \text{ kg}$$

Reemplazando los datos de la tabla 4.16 en la ecuación 9, para el aire se tiene:

Tabla 4.16. Propiedades para el cálculo del calor requerido para el calentar el aire de la cámara.

Sustancia	Masa (m) [kg]	Calor específico (C_p) [J/kgK]	Temperatura ambiente (T_{∞}) [°C]	Temperatura cámara (T_i) [°C]	Tiempo de cocción [s]
Aire	0,1066	1012,5	20	250	3600

Fuente: Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. México: McGraw-Hill.

$$\dot{Q}_{aire} = 6,9 \text{ W}$$

El calor específico del aire se determina a la temperatura de película $T_f = 135^{\circ}\text{C}$.

Sumando los valores obtenidos, tenemos:

$$\dot{Q}_{ad,sal} = 35,65 \text{ W}$$

4.2.8. Pérdidas de calor al ambiente

Las pérdidas de calor desde las superficies externas del horno hacia el ambiente se producen por convección natural y radiación.

Según la norma NTE INEN 2259, las temperaturas en las superficies exteriores del horno no deben sobrepasar la temperatura ambiente en más de 100°C (INEN, 2000), sin embargo, este valor de temperatura puede ocasionar quemaduras en los usuarios, ya que “el cuerpo humano tolera temperaturas de hasta 40°C ; por encima se produce

una desnaturalización de las proteínas y se altera la capacidad de recuperación celular” (Ministerio de trabajo y asuntos sociales, 2015).

Dicho esto, para éste cálculo se asume un valor de la temperatura superficial exterior del horno, $T_{se} = 40^{\circ}C$.

$$\dot{Q}_{perd} = \dot{Q}_{p_{rad}} + \dot{Q}_{p_{conv}} [W] \quad [36]$$

4.2.8.1. Pérdidas de calor por radiación

Las pérdidas de calor por radiación total, es la suma de las pérdidas de calor por radiación por las paredes de acero y las pérdidas de calor por radiación por el vidrio de la puerta.

$$\dot{Q}_{p_{rad}} = \dot{Q}_{p_{rad,pared\ acero}} + \dot{Q}_{p_{rad,vidrio\ puerta}} [W] \quad [37]$$

$\dot{Q}_{p_{rad,pared\ acero}}$: Pérdidas de calor por radiación por las paredes de acero del horno

$\dot{Q}_{p_{rad,vidrio\ puerta}}$: Pérdidas de calor por radiación por el vidrio de la puerta del horno

Para determinar las pérdidas de calor por radiación por las paredes, se usa la ecuación 17, en la tabla 4.17 se muestran las propiedades del acero AISI 430 y las condiciones de radiación.

$$\dot{Q}_{p_{rad,pared\ acero}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot (T_{se}^4 - T_{\infty}^4) \quad [17]$$

Tabla 4.17 Propiedades del acero AISI 430 y condiciones iniciales para la radiación

Material radiante	Emisividad (ε)	Constante (σ) [$W/m^2 K^4$]	Area superficial (A_s) [m^2]	Temperatura superficie exterior (T_{se}) [K]	Temperatura ambiente (T_{∞}) [K]
Acero Inox. 430	0,3	5,67E-08	1,395	313,15	293,15

Fuente: Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). Transferencia de calor y masa. México: McGraw-Hill.

$$\dot{Q}_{p_{rad,pared\ acero}} = 52,94 W$$

De la misma forma se determina las pérdidas de calor por radiación, por el vidrio de la puerta; debido que en la puerta solo se utiliza aire como aislante térmico, la temperatura superficial externa será de $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, que es el promedio entre los $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ permitidos por la norma INEN y los $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ permitidos mediamente; usando la ecuación 17 y la tabla 4.18 en donde se encuentran las propiedades del vidrio y las condiciones iniciales para la radiación se calcula la pérdida de calor por radiación en el vidrio.

$$\dot{Q}_{p_{rad,vidrio\ puerta}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot (T_{se}^4 - T_{\infty}^4) \quad [17]$$

Tabla 4.18 Propiedades del vidrio y condiciones iniciales para la radiación

Material radiante	Emisividad (ε)	Constante (σ) [$W/m^2 K^4$]	Area superficial (A_s) [m^2]	Temperatura superficie exterior (T_{se}) [K]	Temperatura ambiente (T_{∞}) [K]
Vidrio pyrex	0,863	5,67E-08	0,105	343.15	293,15

Fuente: Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). Transferencia de calor y masa. México: McGraw-Hill.

$$\dot{Q}_{p_{rad,vidrio\ puerta}} = 33.30\text{ W}$$

Sumando las pérdidas por radiación, se tiene:

$$\dot{Q}_{p_{rad}} = 86.24\text{ W}$$

4.2.8.2. Pérdidas de calor por convección

Para determinar las pérdidas de calor por convección a través de las paredes se usa la ecuación 18.

$$\dot{Q}_{p_{conv}} = h_{i_{ext}} \cdot A_s \cdot (T_{se} - T_{\infty}) [W] \quad [18]$$

Para determinar las propiedades del aire, se determina la temperatura de película, usando la ecuación 20, y los datos de la tabla 4.19, donde se encuentran las propiedades del aire a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$T_f = \frac{T_{se} + T_{\infty}}{2} [^{\circ}\text{C}] \quad [20]$$

$$T_f = 30 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Tabla 4.19 Propiedades del aire a $T_f = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, en la cámara del horno

Temperatura [$^\circ\text{C}$]	Densidad (ρ) [kg/m^3]	Calor específico (C_p) [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$]	Conductividad térmica (K) [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]	Difusividad térmica (α) [m^2/s^2]	Viscosidad dinámica (μ) [$\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$]	Viscosidad cinemática (ν) [m^2/s]	Numero de prandtl [-----]
30	1,1655	1007	0,02588	2,21E-05	1,872E-05	1,609E-05	0,7282

Fuente: Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). Transferencia de calor y masa. México: McGraw-Hill.

Con las propiedades del aire calculadas, se determina el número de Grashof, usando la ecuación 24.

$$Gr = \frac{g\beta(T_{se} - T_\infty)Lc^3}{\nu^2} \quad [24]$$

$$Gr = 312881117.9$$

El número de Rayleigh se determina, usando la ecuación 25.

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad [25]$$

$$Ra = 22.784 \times 10^7$$

Calculado el número Rayleigh se determina el número de Nusselt sobre placas verticales, usando la ecuación 26.

$$Nu = 0,68 + \frac{0,670 Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} \quad [26]$$

Las condiciones para aplicar la ecuación son:

- $0 < Pr < \infty$, Cumple
- $0 < Ra < 10^9$, Cumple

$$Nu = 64,038$$

Se determina el coeficiente de convección exterior hi_{ext} , usando la ecuación 19.

$$hi_{ext} = \frac{Nu.K}{L} \quad [19]$$

$$hi_{ext} = 3,31 \frac{W}{m^2K}$$

El área superficial correspondiente a las 4 paredes laterales de es $A_s = 1 m^2$.

Reemplazando valores en la ecuación 19, se tiene:

$$Q_{p_{conv}} = 66,3 [W]$$

En la tabla 4.20, se tiene los valores de las pérdidas de calor a través de cada disposición de pared.

Tabla 4.20 Pérdidas de calor por convección a través de las paredes del horno

Zona	Número de Nusselt	Ecuación de Nusselt usada	hi ext. [w/m ² k]	Q convección [w]
Pared lateral (x4)	64,04	21	3,31	66,29
Pared superior	91,62	22	4,74	23,71
Pared inferior	33,17	23	1,72	8,58
Q convección Total [w]				98,59

Fuente: Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). Transferencia de calor y masa. México: McGraw-Hill.

Sumando las perdidas por convección y radiación, se tiene:

$$Q_{perd} = 184,83 W$$

4.2.9. Calor por reacciones endotérmicas

Para determinar el calor que absorbe el alimento, debido a reacciones endotérmicas se usa la ecuación 12.

$$\dot{Q}_{end} = \dot{Q}_{end,gel} + \dot{Q}_{end,alc} [W] \quad [38]$$

Para determinar el calor por gelatinización de almidón, se usa la ecuación 15 y los datos de la tabla 4.21.

$$\dot{Q}_{end,gel} = \frac{n}{t} \cdot m_a \cdot C \cdot (h_m \cdot \eta_m + h_t \cdot \eta_t) [W] \quad [15]$$

Tabla 4.21 Propiedades químicas de un pastel.

Cantidad de pasteles (n)	Tiempo de cocción (t)	Masa del pastel (m _a)	Porcentaje de almidón (C)	Entalpía de gelatinización de maíz (h _m)	Porcentaje de almidón de maíz (η _m)	Entalpía de gelatinización de trigo (h _t)	Porcentaje de almidón de trigo (η _t)
[— — —]	[s]	[kg]	[%]	[kJ/kg]	[%]	[kJ/kg]	[%]
1	3600	3	25	2,92	1	10,04	60

Fuente: Propia, Carzino, M. C. (junio de 2006). Projeto e Análise para dimensionamento automático de fornos para cozimento de pães e biscoitos. Curitiba, Brasil

$$\dot{Q}_{end,gel} = 1,26 W$$

Para determinar el calor por evaporación del alcohol, se usa la ecuación 16 y los datos de la tabla 4.22.

$$\dot{Q}_{end,alc} = 0,5 \cdot \frac{n}{t} \cdot m_a \cdot h_{alc} \cdot \eta_{azuc} [W] \quad [16]$$

Tabla 4.22. Propiedades químicas de un pastel, concentración de azúcar.

Cantidad de pasteles (n)	Tiempo de cocción (t)	Masa del pastel (m _a)	Entalpía de vaporización de alcohol (h _{alc})	Concentración de azúcar (η _{azuc})
[— — —]	[s]	[kg]	[kJ/kg]	[%]
1	3600	3	854	6

Fuente: Propia, Carzino, M. C. (junio de 2006). Projeto e Análise para dimensionamento automático de fornos para cozimento de pães e biscoitos. Curitiba, Brasil

$$\dot{Q}_{end,alc} = 21,35 W$$

Reemplazando valores en la ecuación 16, y se tiene:

$$\dot{Q}_{end} = 22,61 W$$

4.2.10. Resistencia eléctrica

Se despeja el valor correspondiente al calor entregado por la resistencia eléctrica $\dot{Q}_{r_{elec}}$, de la ecuación 31 del balance de energía, y se reemplaza los valores calculados y obtenemos un valor requerido de:

$$\dot{Q}_{r_{elec}} = 2612.49 \text{ W}$$

Para poder satisfacer este requerimiento de energía, se equipará al equipo con 3 resistencias eléctricas en el **Anexo C**, se muestra los tipos de resistencias más comerciales.

Para el correcto funcionamiento del horno de pretender lograr el valor de 2612.49 W con las resistencia inferior y posterior ya que la resistencia superior no se encenderá para el funcionamiento habitual, ya que este cumple únicamente con la función de grill.

La resistencia inferior es la que más potencia tendrá, debido a que calentará al aire y por diferencia de densidades el aire caliente subirá es por eso que esta resistencia será la resistencia TEKA H-6049 A de 1500 W y 220 V, se muestra en el anexo C.

La resistencia posterior será de la marca DOBRA H-6100 de 1260 W y 220 V, de muestra en el anexo C.

Para la resistencia superior se utilizará una resistencia propia de grill es de la marca SAMMIC H-6091 de 700 W y 220 V, se muestra en el anexo C.

4.2.11. Dimensionamiento del aislante térmico

El aislante térmico (fibra de vidrio), se encuentra en medio de una pared interior y otra exterior de acero inoxidable, pero los espesores de estas paredes de acero son muy pequeñas, como se dimensiona en la sección (paredes), $t = 0,7 \text{ mm}$, por tal razón se omite el análisis en las paredes y únicamente se toma el aislante térmico.

Se hace un balance de energía en la superficie exterior del aislante, usando la ecuación 8.

$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sal} [W] \quad [8]$$

Para este caso se tiene:

\dot{E}_{ent} : Calor por conducción (\dot{Q}_{cond}), [W]

\dot{E}_{sal} : Pérdidas de calor al ambiente (\dot{Q}_{perd}), [W]

Para determinar el calor por conducción que fluye a través del aislante térmico, se usa la ecuación 30 y los valores de la tabla 4.23.

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad [W] \quad [30]$$

Tabla 4.23. Propiedades de la fibra de vidrio y condiciones de borde.

Aislante térmico	Conductividad térmica (K) [W/m.K]	Area superficial (A) [m ²]	Temperatura interior de la cámara (Ti) [°C]	Temperatura superficie exterior (Ts) [°C]	Pérdidas de calor al ambiente (\dot{Q}_{perd}) [W]
Fibra de vidrio (soplado)	0,035	1,5	250	50	184,83

Fuente: Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. United States of America : Jhon Wiley and sons.

Despejando Δx , que corresponde al valor del espesor del aislante térmico y reemplazando en la ecuación 8, se tiene:

$$\Delta x = 56,80 \text{ [mm]}$$

4.2.12. Dimensionamiento del espacio entre vidrios de la puerta

Tendiendo la necesidad de tener vidrios en la puerta de horno, para apreciar el aspecto del alimento durante la cocción, es necesario dimensionar el espacio idóneo entre los vidrios interior y exterior de la puerta, de tal modo que la temperatura superficial externa no sea un riesgo para los usuarios.

Para dimensionar el espacio entre vidrios se asume, que la temperatura superficial exterior del vidrio externo, tiene una superficie $T_s = 85 \text{ }^\circ\text{C}$, mientras que la temperatura en la superficie interior del vidrio interno tiene una temperatura $T_i = 250 \text{ }^\circ\text{C}$, para lo cual se muestran las propiedades del aire a temperatura promedio en la tabla 4.24.

Tabla 4.24. Propiedades del aire a $T_f = 167,5 \text{ }^\circ\text{C}$ en la superficie exterior del vidrio de la puerta

Temperatura	Densidad (ρ)	Calor específico (C_p)	Conductividad t�mica (K)	Difusividad t�mica (α)	Viscosidad dinámica (μ_i)	Viscosidad cinemática (ν)	Numero de prandtl
[$^\circ\text{C}$]	[kg/m^3]	[$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$]	[$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]	[m^2/s^2]	[$\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$]	[m^2/s]	[-----]
167,5	0,81021667	1016,5	0,03532667	4,3034E-05	2,43775E-05	3,0174E-05	0,70124167

Fuente: Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw-Hill.

Se determina el número de Rayleigh, usando la ecuación 25.

$$Ra = \frac{g\beta(T_i - T_s)H^3}{\alpha \cdot \nu} \quad [25]$$

$$Ra = 138532631,60$$

La variable H corresponde a la altura del vidrio, siendo esta, $H = 0,35 \text{ [m]}$.

Calculado el número Rayleigh, se determina el número de Nusselt en espacios cerrados rectangulares verticales, con la ecuación 29.

$$Nu = C \cdot Ra^n \quad [29]$$

$$Nu = 17$$

Usando la ecuación 18,19 y despejando la variable L_c , que corresponde al espacio entre vidrios se tiene:

$$\dot{Q}_{perd} = h \cdot A_s \cdot (T_i - T_s) \text{ [W]} \quad [18]$$

$$Nu = \frac{h \cdot L_c}{K} \quad [19]$$

$$L_c = 63,9 \text{ [mm]}$$

El espacio entre vidrios de acuerdo al cálculo teórico es de $L_c = 63,9 [mm]$, sin embargo, para el diseño este valor corresponde al espesor de lana de vidrio que se requiere para aislar las paredes.

4.2.13. Simulación

Con el objetivo de validar los resultados teóricos, se procede a realizar la simulación mediante elementos finitos, para ello se tiene.

4.2.13.1. Modelo

Es necesario mostrar la geometría básica, con el fin de alivianar el modelo durante el mallado y simulación.

Por tal razón el modelo consta de partes importantes que tienen relevancia en la simulación y dimensiones de diseño, como se observa en la figura 4.9.

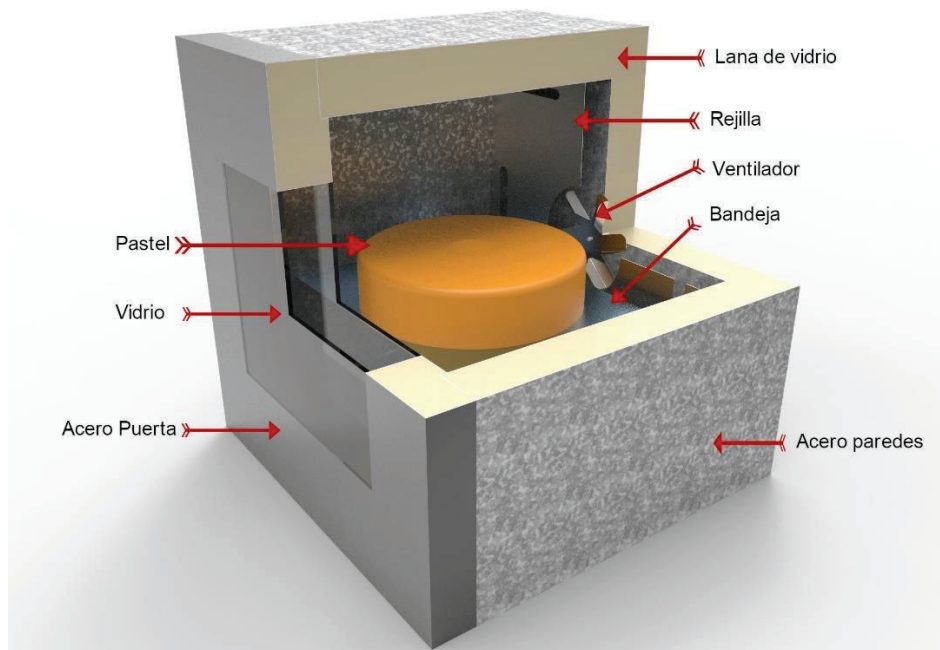


Figura 4.9. Modelo de horno eléctrico utilizado para la simulación de transferencia de calor y CFD

Fuente: Propia

4.2.13.2. Parámetros de Simulación

Se lleva a cabo la simulación definiendo los siguientes parámetros:

- Temperatura máxima en las paredes interiores $T_i = 250\text{ }^\circ\text{C}$
- Curva del ventilador seleccionado anteriormente
- Convección natural en el exterior del horno
- Radiación en el interior y en el exterior del horno
- Conducción a través de sólidos

Con el fin de comparar nuevamente la transferencia de calor por convección forzada, y la transferencia de calor por convección natural, se realiza dos simulaciones bajo estas condiciones.

4.3. RESULTADOS

En la tabla 4.25 se presenta un resumen de los cálculos realizados en el diseño del horno eléctrico de convección forzada.

Tabla 4.25. Resumen de valores del balance de energía

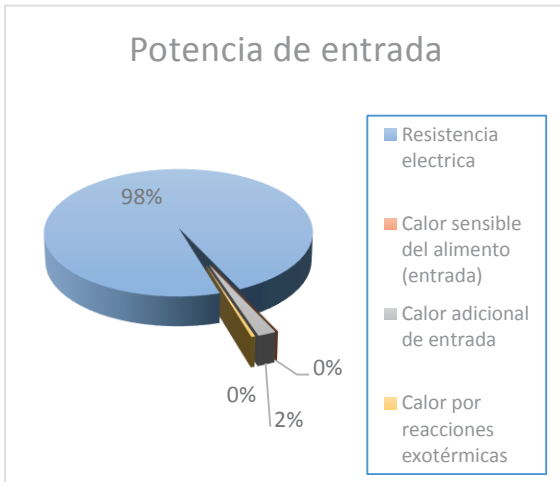
Parámetro	Símbolo	Potencia
Calor sensible del alimento al entrar al horno	$\dot{Q}_{a,sen,ent}$	0 W
Calor adicional de entrada	$\dot{Q}_{ad,ent}$	53 W
Calor por reacciones exotérmicas	\dot{Q}_{exo}	11,3 W
Calor entregado al alimento para la cocción	\dot{Q}_{util}	1839,54 W
Calor por radiación	\dot{Q}_{rad}	1395,42 W
Calor por convección	\dot{Q}_{conv}	444,12 W
Calor sensible y latente del alimento al salir del horno	$\dot{Q}_{a,sen,lat,sal}$	594,17 W
Calor sensible	\dot{Q}_{sen}	594,17 W
Calor latente	\dot{Q}_{lat}	0,00 W
Calor adicional de salida	$\dot{Q}_{ad,sal}$	35,64 W
Calor necesario para calentar la bandeja	$\dot{Q}_{bandeja}$	28,75 W
Calor necesario para calentar el aire	\dot{Q}_{aire}	6,89 W
Perdidas de calor al ambiente	\dot{Q}_{perd}	184,83 W
Perdidas por radiación en paredes de acero	$\dot{Q}_{p,rad,pared\ acero}$	52,94 W
Perdidas por radiación por vidrio	$\dot{Q}_{p,rad,vidrio\ puerta}$	33,30 W
Perdidas por convección	$\dot{Q}_{p,conv}$	98,59 W
Calor por reacciones endotérmicas	\dot{Q}_{end}	22,61 W
Calor por gelatinización del almidón	$\dot{Q}_{end,gel}$	1,26 W
Calor por evaporación de alcohol	$\dot{Q}_{end,alc}$	21,35 W
Resistencia eléctrica	$\dot{Q}_{r,elec}$	2612,49 W

Fuente: Propia

Tanto el calor que entra como el calor que sale son iguales por lo cual se puede determinar que el balance de energía es correcto.

En el gráfico 4.2 se presenta los porcentajes de las potencias que entran y salen del horno.

a)



b)

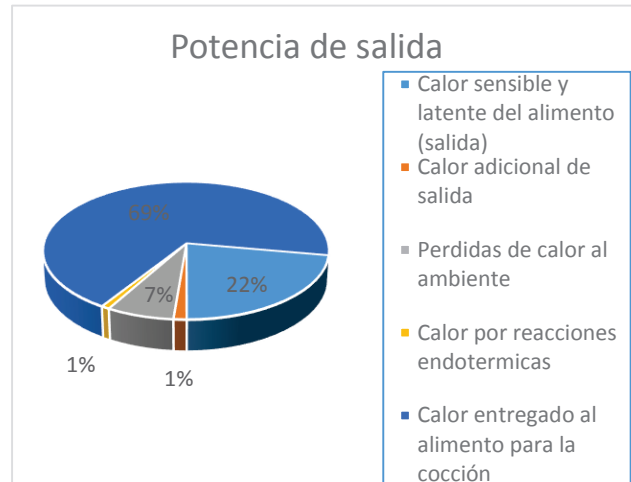


Gráfico 4.2. Porcentaje de las potencias de a) Entrada y b) Salida, en el horno eléctrico doméstico

4.3.1. Resultados de la simulación

De las simulaciones realizadas se obtiene varios resultados que serán presentados a continuación.

En la figura 4.10 se observa que la temperatura superficial del pastel es mucho más uniforme mediante convección forzada que, mediante convección natural, este hecho se debe a la distribución del uniforme del aire dentro de la cámara de cocción gracias al ventilador en el caso de la convección forzada.

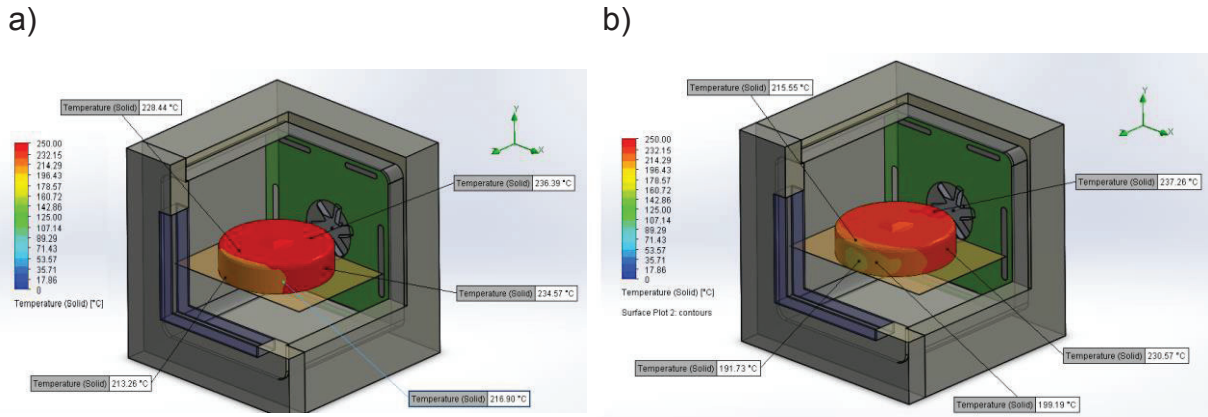


Figura 4.10. Temperatura superficial del pastel con a) convección forzada y b) convección natural

Fuente: Propia

En la figura 4.11 a) se observa la distribución de temperatura en el fluido y en las paredes del horno ocasionado por la temperatura interior y el movimiento del aire dentro del horno, mientras que en la figura 4.11 b) se tiene la distribución de velocidad del aire en el interior del horno, producido por el ventilador.

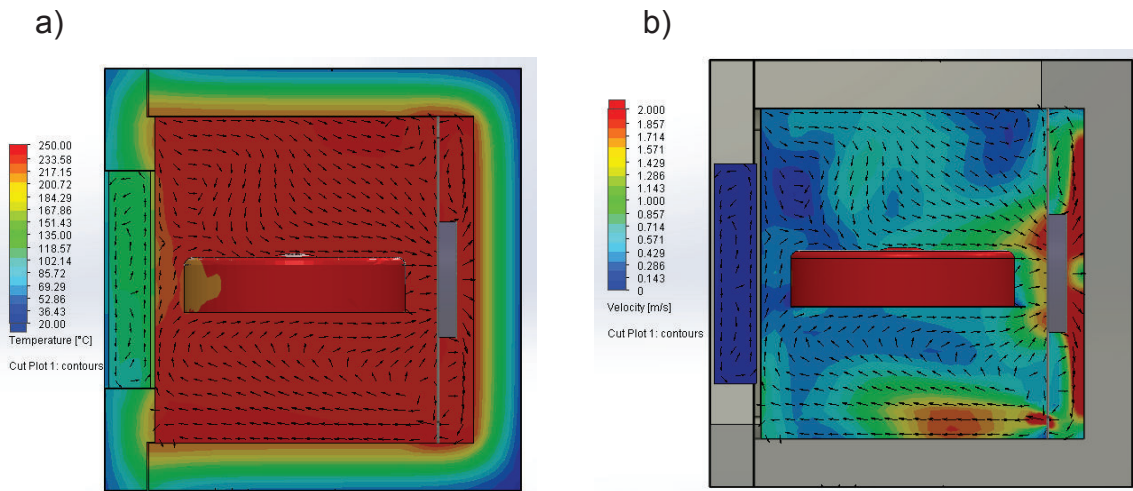


Figura 4.11. a) Campo de temperatura y b) distribución de velocidad en el plano vista lateral 0 [m]

Fuente: Propia

En la figura 4.12 a) se observa la distribución de temperatura en el fluido y en las paredes del horno visto desde el plano de diseño planta, se puede ver como la temperatura en la superficie exterior del horno está entre 36 y 52 °C, en la figura 4.12 b) se tiene la distribución de velocidad del aire en el interior del horno producido por el ventilador, visto desde el plano de diseño planta.

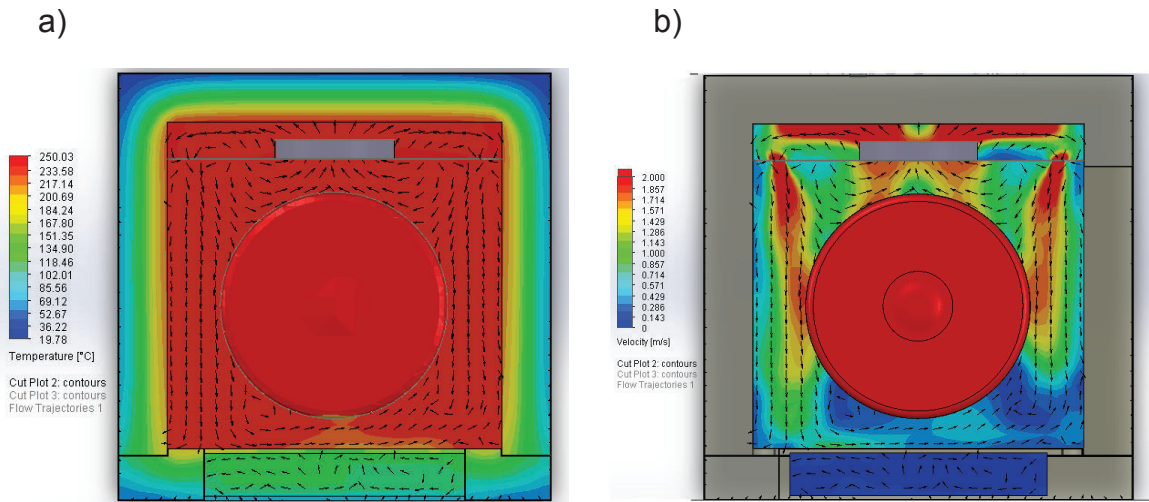


Figura 4.12. Campo de temperatura y b) distribución de velocidad en el plano vista planta 0 [m]

Fuente: Propia

En la figura 4.13, se observan los croquis trazados en el modelo de horno eléctrico, los mismos que son usados para determinar la distribución de temperatura a través de cada pared.

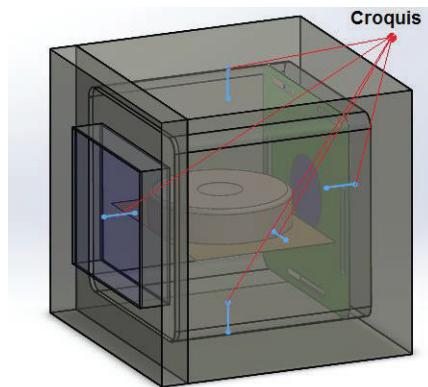


Figura 4.13. Croquis trazados en el centro de cada pared del horno

Fuente: Propia

A continuación, se presenta la gráfica 4.3, en donde se tiene las curvas de distribución de temperatura correspondientes a los croquis trazados en las paredes de la figura 4.13.

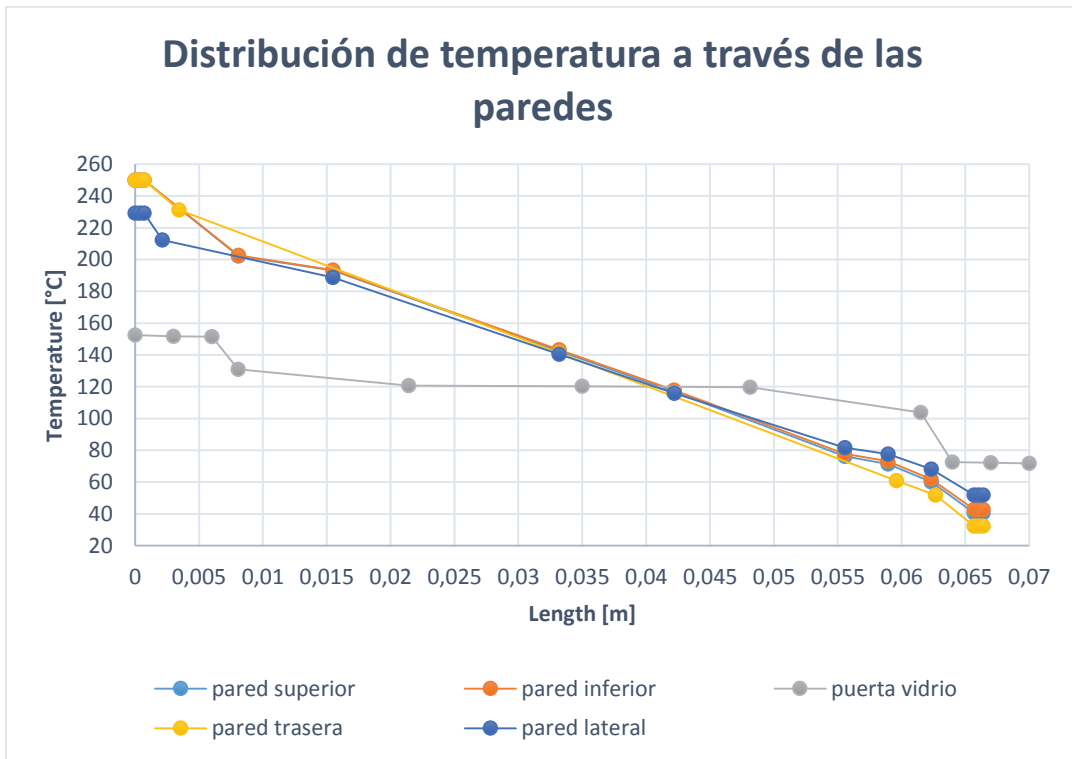


Gráfico 4.3. Distribución de temperatura a través de cada disposición de pared

Fuente: Propia

En el **Anexo D**, se tiene los resultados de la simulación con más detalle.

4.4. ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS DE UN HORNO

Para poder diseñar un buen equipo, que cumpla con los requerimientos básicos del usuario se deberán utilizar varios elementos, dentro de los cuales tenemos: foco, vidrio, empaques para evitar la fuga de calor y el pegamento para el vidrio del horno.

4.4.1. Bombilla eléctrica

Una bombilla eléctrica o foco, es un dispositivo que transforma energía eléctrica en lumínica.

Este dispositivo será el encargado de generar luz dentro de la cámara de cocción, dando mayor facilidad al usuario durante el uso del horno. La bombilla eléctrica además deberá cumplir con el requisito mínimo de poder trabajar a una temperatura de 250°C, que es la temperatura máxima de funcionamiento del equipo.

En el mercado actual se encuentran bombillas para horno de diversos tipos y características dentro de las cuales las más comunes trabajan a una temperatura ambiente de máxima de 300°C, con una potencia de entre 15 W y 25 W, y a un voltaje de 220 V, en la figura 4.14 se puede apreciar una imagen con las dimensiones del dispositivo.

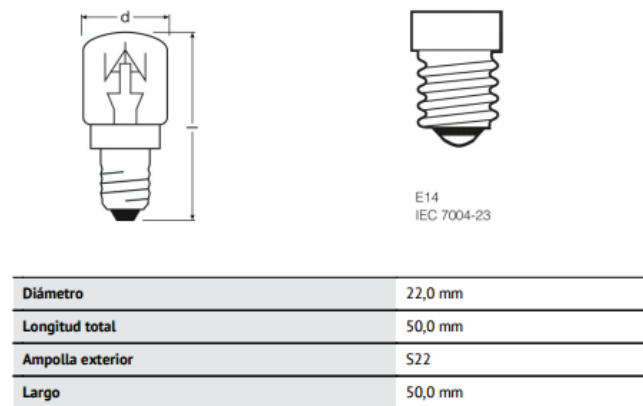


Figura 4.14. Bombilla para horno.

Fuente: OSRAM, (s.f.). Recuperado el 05 de noviembre de 2015 de: file:///C:/Users/amparito/Downloads/ZMP_57304_SPC.T_OVEN_CL_15W_230V_E14.pdf

Para el buen funcionamiento de este dispositivo es necesario el uso de un portalámparas, el mismo que será el soporte de la bombilla eléctrica y lo cubrirá del contacto directo con los alimentos y los cambios bruscos de temperatura.

Los portalámparas de horno son muy parecidos a las conocidas boquillas, pero de menor dimensión, en la figura 4.15 se aprecia el modelo más utilizado como portalámparas.



Figura 4.15. Portalámparas para horno.

Fuente: Toprespuestos (s.f.). Recuperado el 07 de noviembre de 2015 de: <http://www.toprespuestos.com/lamparas-y-varios/portalampara-electrolux-incluye-bombilla-de-15w-d-e-tipo-e14-y-cristal-de-proteccion-horno-6264>

4.4.2. Vidrio

Como se habló ya en el capítulo 1, el vidrio que recubre la puerta del horno debe cumplir con varias características, la principal es poder soportar la temperatura de trabajo del horno sin sufrir cambios en su estructura; para lo cual es recomendable usar vidrio templado.

Una vez que el vidrio fue calentado a una temperatura de alrededor de los 700 °C (Vidrio, 2015) y enfriado bruscamente, se puede decir que el vidrio ha sido templado, es decir que sus propiedades se han elevado exponencialmente.

Un vidrio templado de 4 mm de espesor es capaz de soportar un choque térmico de hasta 250 °C sin sufrir ningún daño en su estructura interna, (Universidad de la Republica , 2015).

Uno de los factores importantes a considerar es la fractura del vidrio que se puede presentar por varias razones como es el choque térmico, el exceso de presión o por no considerar la dilatación térmica.

Como ya se explicó un vidrio templado es capaz de resistir un choque térmico de hasta 250°C, lo que significa un cambio de temperatura de 250°C de forma brusca, es decir

en menos de 30 segundos (Roy & Craig, Mechanics of materials., 2011); efecto al cual no está sujeto un horno eléctrico.

Según los cálculos y la simulación desarrollados para el ventilador en el apartado 4.2.1.2 se determinó que la presión ejercida por el ventilador en la puerta del horno es despreciable, razón por la cual se descarta la opción de que el vidrio falle por exceso de presión.

Cuando un sólido se deforma por efectos térmicos y el cuerpo está en apriete, pueden los esfuerzos superar el límite de fluencia y deformar al cuerpo permanentemente, para evitar este tipo de daños se calculará la dilatación térmica del vidrio.

Para utilizar la ecuación 7 de la dilatación térmica se conoce que el coeficiente de dilatación térmica del vidrio es $\alpha = 9 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, la longitud más larga del vidrio es de 350 mm. Es decir, la longitud inicial será 350mm.

También se conoce que la temperatura ambiente en la ciudad de Quito es de 20°C y la máxima a la que trabajará el horno es de 250°C. Con lo cual se tiene que:

$$\delta = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T \text{ [m]} \quad [7]$$

$$\delta = 0.72 \text{ mm}$$

Por lo tanto, vidrio de la pared del horno tendrá una dilatación térmica de 0.72 mm en sentido horizontal y de 0.62 en el sentido vertical, al alcanzar la temperatura máxima.

Como conclusión se utilizará vidrio templado de (350 x 300 x 4) mm, dejando la respectiva holgura en la chapa metálica de la puerta para que el vidrio no sufra deformaciones permanentes a causa de la dilatación térmica.

4.4.3. Aglutinante

El vidrio irá sujeto a un marco de chapa metálica, que luego se ensambla en la puerta como se observa en la figura 4.16, pero para evitar pérdidas de calor el vidrio se unirá al marco de la puerta con un aglutinante o pegamento.



Figura 4.16. Vidrios sujetos a marco de la puerta

Fuente: Propia

El aglutinante para vidrios debe presentar ciertas características, dentro de las cuales tenemos que debe ser resistente al calor y poseer buena resistencia mecánica al momento de su endurecimiento.

En el mercado actual se encuentran un sin número de aglutinantes para vidrio de los cuales poseen elevadas propiedades, como es el caso del pegamento UHU, que resistente una temperatura de hasta 1250°C, al momento de su endurecimiento logra una elevada resistencia y puede pegar en superficies de metal, piedra y hormigón. En la figura 4.17 se puede apreciar el producto que se comercializa, (UHU, 2015)



Figura 4.17. Pegamento de vidrio para horno

Fuente: UHU. (10 de noviembre de 2015). Obtenido de Sellador para hornos y chimeneas: <http://www.uhu.com/es/productos/pegamentos-de-montaje-y-construccion/detail/uhu-sellador-para-hornos-y-chimeneas.html?cHash=cc774597726c6120e438b73cae06f78a>.

Los sellos para hornos o empaques son elementos mecánicos que minimizan las pérdidas de calor, en un horno las pérdidas de calor se darán por cada una de las paredes, pero al estar estas selladas entre ellas, las pérdidas se reducen, lo que no sucede entre la cámara de cocción del horno y las puertas, al no existir una junta permanente entre estas dos partes el calor intentará disiparse por las uniones.

Es por esta razón que es indispensable el uso de un empaque entre la cámara de cocción del horno y la puerta, el mismo que deberá ser resistente a elevadas temperaturas.

En el mercado encontramos empaques con varias formas y tamaños, son fabricados generalmente de silicona y pueden trabajar sin sufrir ningún cambio en su estructura hasta los 250°C (Corporación EMACIN, 11), no son tóxicos por lo que pueden trabajar en contacto con alimentos. En la figura 4.18 se observa un ejemplar de empaque.



Figura 4.18. Sello de horno

Fuente: Sequipan, (s.f.). Recuperado el 11 de noviembre de 2015 de: [http://www.sequipanguatemala.com/#!Empaque de Puerta Horno Gastromaq/zoom/c1bgw/c1sww](http://www.sequipanguatemala.com/#!Empaque%20de%20Puerta%20Horno%20Gastromaq/zoom/c1bgw/c1sww)

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DE COSTOS

En la actualidad el Ecuador está viviendo una transformación en la producción y uso de energía, como se menciona en el capítulo 1, por esta razón se ha iniciado el cambio de cocinas de inducción por cocinas de gas, las mismas que para brindar un servicio eficiente requieren de un horno.

En el mercado nacional ya se comercializan este tipo de cocinas, unas con hornos y otras no. La mayor parte de cocinas que no poseen horno para su funcionamiento, se ven en la necesidad de adquirir un horno independiente.

5.1. ESTUDIO DE MERCADO

Para poder conocer la demandan de hornos independientes que requiere la sociedad ecuatoriana se hará un breve estudio estadístico, partiendo de que los hogares ecuatorianos cambiarán en un total de 3 000 000 cocinas de gas por cocinas de inducción, (Araujo , 2015).

Se conoce también que en la actualidad las familias de recursos económicos, medios, medios altos y altos pueden acceder con facilidad a cocinas de inducción con hornos incluidos u hornos independientes, y que los hogares de recursos económicos bajos no tienen las mismas facilidades para acceder a estos servicios y sabiendo que los hornos independientes suelen ser utilizados en su mayor parte en cocinas de tipo americano, las mismas que son características de personas con recursos económicos medios, medios altos y altos, se analizará la demanda de hornos para esta población.

Según datos recopilados por el INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo) se sabe que actualmente en el Ecuador el 1.9% de los hogares poseen a un nivel económico alto, el 11.2% a un nivel medio alto y el 22.8% un nivel medio; quienes pueden ser los potenciales clientes de un horno eléctrico (INEC, 2011). En la figura 5.1 se observa el porcentaje de la población según los datos del INEC.

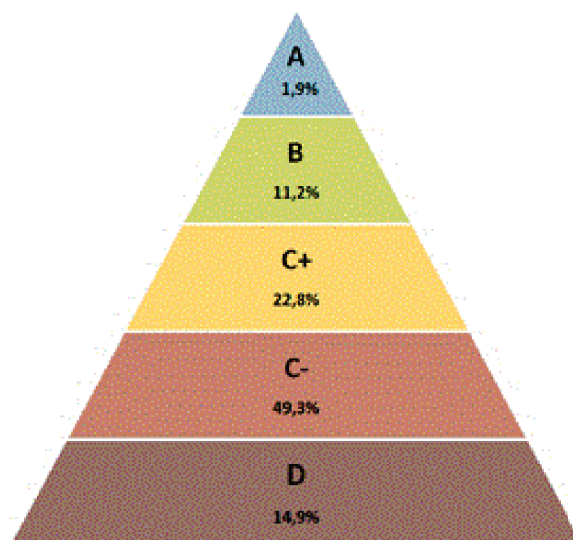


Figura 5.1. Estratos económicos de Ecuador

Fuente: INEC, Encuesta de Estratificación del Nivel Socioeconómico. (diciembre de 2011). Recuperado el 12 de noviembre de 2015 de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-estratificacion-del-nivel-socioeconomico/>

Entonces se considera que el posible mercado potencial es un total de 35.9% de los hogares que cambiaran su cocina de gas por una de inducción, es decir el 35.9% de los 3 000 000 de cocinas, lo que da un total de 1 077 000 cocinas que requieren de un horno doméstico eléctrico.

En los 3 últimos años en Ecuador se han importado un total aproximado de 309.99 toneladas de hornos eléctricos (Banco Central del Ecuador, 2015), se conoce que un horno en promedio pesa 42.5 Kg (Fnac. AEG B-9872-5-M horno, 2015), lo que nos lleva a determinar que en promedio Ecuador ha importado un poco más de 7 000 hornos, teniendo así aun un mercado de más de 1 070 000 hogares que requieren cambiar su horno de gas por un eléctrico.

La demanda actual de hornos desde el 2013 se ha ido incrementado notablemente, puesto que Ecuador en el año 2012 importó un total de 19.90 toneladas y el 2013 se importó 93.15 toneladas como se muestra en las figuras 5.2 y 5.3, incrementando la demanda en más del 400 %.

CONSULTA DE TOTALES POR NANDINA								
(Toneladas y miles de dólares)								
Tipo:	Importaciones	Subpartida Nandina:	8514100000	Desde (aaaa/mm):	2012/01	Hasta (aaaa/mm):	2012/12	Consultar
SUBPARTIDA NANDINA	DESCRIPCION	TONELADAS	FOB - DOLAR	CIF - DOLAR	% / TOTAL FOB - DOLAR			
8514100000	HORNOS DE RESISTENCIA (DE CALENTAMIENTO INDIRECTO)	19.90	324.47	341.48	100.00			
TOTAL GENERAL:		19.90	324.47	341.48	100.00			

Figura 5.2. Partida andina de importaciones de hornos de resistencia del año 2012

Fuente: Banco Central del Ecuador, (s.f.). Recuperado el 12 de noviembre de 2015 de <http://www.bce.fin.ec/comercioExterior/comercio/consultaTotXNandinaConGrafico.jsp>

CONSULTA DE TOTALES POR NANDINA								
(Toneladas y miles de dólares)								
Tipo:	Importaciones	Subpartida Nandina:	8514100000	Desde (aaaa/mm):	2013/01	Hasta (aaaa/mm):	2013/12	Consultar
SUBPARTIDA NANDINA	DESCRIPCION	TONELADAS	FOB - DOLAR	CIF - DOLAR	% / TOTAL FOB - DOLAR			
8514100000	HORNOS DE RESISTENCIA (DE CALENTAMIENTO INDIRECTO)	93.15	1,624.71	1,747.62	100.00			
TOTAL GENERAL:		93.15	1,624.71	1,747.62	100.00			

Figura 5.3. Partida andina de importaciones de hornos de resistencia del año 2013

Fuente: Banco Central del Ecuador, (s.f.). Recuperado el 12 de noviembre de 2015 de <http://www.bce.fin.ec/comercioExterior/comercio/consultaTotXNandinaConGrafico.jsp>

Es decir, el mercado actual requiere un total aproximado de 1 070 000 horno eléctricos independientes, los mismo que se deberán ser comercializados con mayor fluidez una vez que haya cambiado la matriz energética del país.

5.2. ESTUDIO DE INVERSIÓN

Se conoce el requerimiento aproximados de hornos eléctricos para los hogares ecuatorianos, pero la fabricación de los mismos dependerá directamente de la capacidad instalada de la empresa, para esto se requiere elaborar un plan de inversión que se base en el proceso de elaboración del equipo.

El horno está constituido por cuatro módulos, los que nos ayudará a determinar el proceso de elaboración del mismo, en el módulo estructural se plantea elaborar todos los elementos en chapa metálica, para su posterior ensamble, que es en donde se

conjugarán los módulos de transferencia de calor, convección forzada y sistema eléctrico.

Para la elaboración de los elementos en chapa metálica se requiere una gran inversión inicial, pues se tienen que fabricar alrededor de quince piezas de gran tamaño, las mismas que se muestran en el **Anexo L**, con las dimensiones en los planos de detalle.

Para la fabricación de estas piezas se requiere siete procesos mecánicos básicos que son:

- **Corte:** En esta área con la ayuda de cuatro obreros se realizarán los cortes principales de chapa metálica, mediante la utilización de guillotinas hidráulicas y tijeras para acero; para lo cual también se requerirá de superficies de trabajo o mesas, flexómetros y marcadores, en la tabla 5.1 se muestran los valores de esta maquinaria según cotizaciones realizadas en febrero del 2016.
- **Prensado:** Una vez que se tiene cortada la chapa metálica se le dará la forma respectiva mediante embutición y corte, para esto se requiere un total de nueve prensas con sus respectivas matrices y cuatro obreros. En la tabla 5.1 se muestran los valores aproximados de estas máquinas y herramientas según cotizaciones realizadas en febrero de 2016.
- **Doblado:** Como se observa en el **Anexo L**, hay varias piezas que requieren de dobleces, es por esto que se contará con dos dobladoras hidráulicas y dos dobladoras manuales y estas máquinas serán manipuladas por cuatro obreros en la tabla 5.1 se registran los valores de la maquinaria.
- **Rolado:** Para poder fabricar la cámara de cocción es necesario rolar las esquinas, para este proceso entonces se debe adquirir una roladora.
- **Taladrado:** Para poder ensamblar el equipo, muchas de las piezas deben ser taladradas, para eso es necesario adquirir dos taladros fijos y seis manuales, en la tabla 5.1 se registran los valores cotizados en febrero del 2016.
- **Soldadura:** En esta área se soldarán los subconjuntos para el ensamblaje, debido a la calidad que presenta la soldadura por punto en este tipo de material

delgado se pretende adquirir dos soldadoras de punto fijas y dos manuales, en la tabla 5.1 de detallan los valores cotizados en febrero del 2016.

- **Ensamblaje:** En esta área se ensamblarán todos los módulos, es decir la estructura metálica, las resistencias eléctricas, el ventilador y el sistema eléctrico.

En la figura 5.4, se muestra la distribución aproximada de planta, para una producción más eficiente.

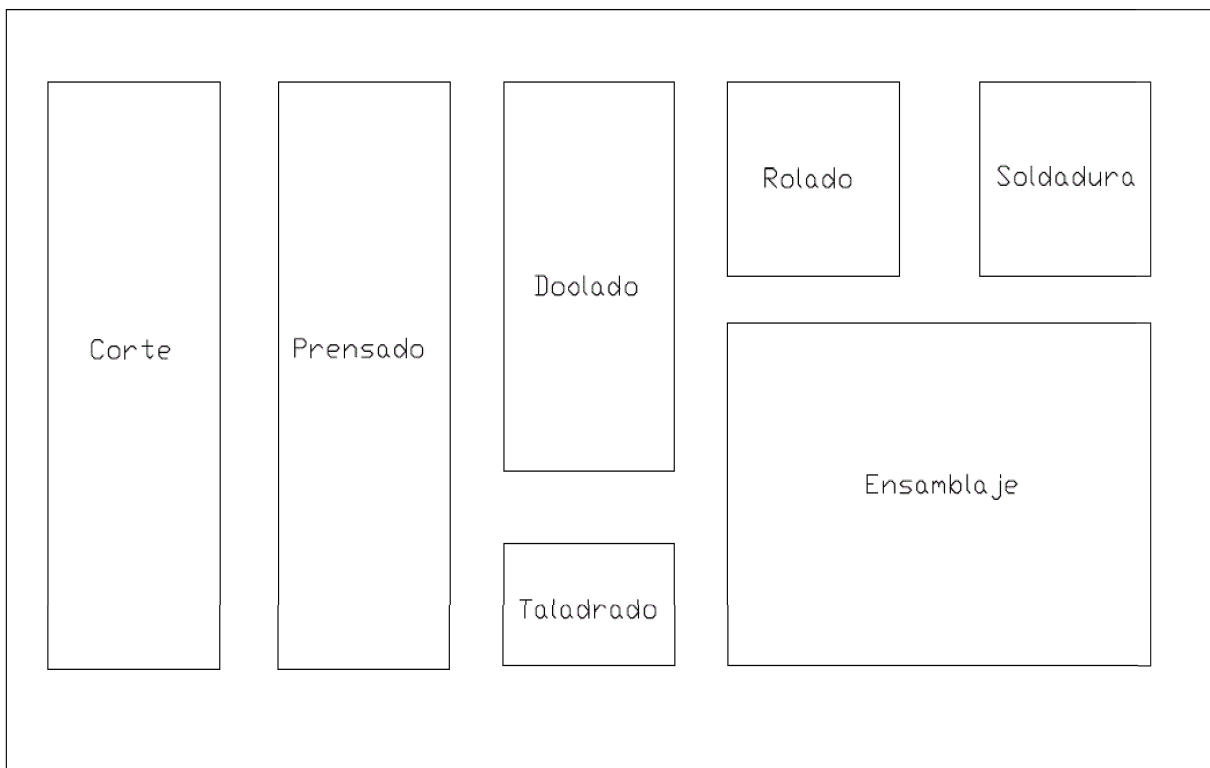


Figura 5.4. Distribución de las máquinas y herramientas en la planta de producción.

Fuente: Propia

En la tabla 5.1 se presenta un resumen de todos de las máquinas y equipos requeridos para la producción de hornos eléctricos domésticos con sus respectivos precios.

Tabla 5.1. Inversión inicial de máquinas y herramientas.

Equipo	Cantidad	Precio [USD]	Total [USD]
Prensas Hidráulica	9	8000	72000
Soldadora de punto	2	5000	10000
Soldadora de punto manual	2	800	1600
Dobladora hidráulica	2	17000	34000
Dobladora manual	2	1500	3000
Taladro fijo	2	600	1200
Taladro manual	6	400	2400
Montacargas	1	18000	18000
Roladora	1	40000	40000
Guillotina hidráulica	4	8000	32000
Tijeras	6	200	1200
Flexómetro	20	20	400
Mesa	4	1200	4800
Herramientas	10	200	2000
Cautín	4	120	480
Separador ventilador			
Matriz 1	1	4000	4000
Matriz 2	1	1200	1200
Matriz 3	1	800	800
Marco frontal			
Matriz 1	1	3000	3000
Marco interior			
Matriz 1	1	3000	3000
Cámara de cocción			
Matriz 1	1	1500	1500
Tapa trasera			
Matriz 1	1	500	500
Cubierta intermedia			
Matriz 1	1	3000	3000
Marco exterior			
Matriz 1	1	3000	3000
Transformador y cableado			
Matriz 1	1	10000	10000
Subtotal Equipo			253080
Instalación y Montaje 10%			25308
Total			278388

Fuente: Propia

Con esta maquinaria la empresa puede producir un horno en un tiempo de 40 minutos, lo que nos da un total de 12 hornos diarios en un turno de 8 horas; al trabajar 20 días al mes y 12 meses del año, nos da un total de 2880 hornos anuales, lo que es un 0.3% de la demanda calculada.

En la tabla 5.2 se muestra el resumen de inversiones necesarias para que la empresa pueda ponerse en marcha; por esta razón es necesario la adquisición de un terreno y la construcción de la planta, estos rubros se detallan en el Anexo H en la tabla H.1; los gastos previos a la construcción de la empresa se registran en la tabla H.2 y para distribución de los equipos la empresa contará con varios vehículos, su descripción y rubro también se detalla en el Anexo H en la tabla H.3; el total de máquinas y herramientas se registra en la tabla 5.1, pero el rubro por montaje se considera como el 10% del total y este valor en la tabla 5.2 se le considera como un valor independiente.

Para el buen funcionamiento de la empresa se requiere invertir en muebles de oficina y equipos de cómputo, en el anexo H en las tablas H.4 y H.5 se detallan estos valores y se considera como un gasto independiente lo correspondiente al montaje de los equipos. El valor correspondiente al montaje será igual a la suma del 10% del montaje de máquinas y equipos, el 5% muebles de oficina y 5% equipo de cómputo.

Tabla 5.2. Cuadro de inversiones para la vida útil del proyecto.

Categoría de inversión / años	0	1	2	3	4	5	6
Inversiones fijas							
Adquisición de terrenos	30000						
Vehículos	75000						
Obras de ingeniería, edificios	129940						
Maquinaria y equipos de planta	253080						
Muebles de oficina	8088						
Equipos de computo	13014,97						
Montaje	26363,15						
Gastos previos a la construcción	11300						
Total, inversión fija	546786,12						
Inversiones Corrientes							
Capital de trabajo *		91.426,72					
Total, inversión corriente	638.212,84						

Fuente: Propia

* Nota: en la tabla 5.2 se registra un resumen de la inversión total para el proyecto, incluido el capital de trabajo necesario para el primer mes de funcionamiento, valor que se toma del total de costos y gastos anuales, dividido para 12 meses, los valores de costos y gastos se registran en el Anexo I.

5.2.1. Costos de un proyecto de inversión

La capacidad de la planta de producción es de 2880 hornos por año, pero debido a que la empresa es nueva se estima que el primer año su producción será del 70%, el segundo año del 80%, el tercer año 90% y el cuarto, quinto y sexto año del 100% de la capacidad instalada.

Es necesario determinar el costo aproximado de la elaboración del 70% de 2880, es decir de un total de 2016 hornos; para lo cual se calculan los costos directos, costo de fabricación, gastos de administración, gastos de ventas y gastos financieros.

5.2.1.1. Costos Directos

Este rubro está relacionado directamente con el número de hornos que se produce, aquí se tomará en cuenta la materia prima y materiales directos, también la mano de obra directa de fabricación. En la tabla 5.3 se observan los costos de materia prima y materiales directos para elaboración de un horno.

Tabla 5.3. Costos de materia prima y materiales directos.

N°	Especificaciones de los materiales	Cantidad	Dimensiones	Precio [USD]	Precio Unitario Total [USD]	Precio Total Mensual [USD]	Precio Total Anual [USD]	Precio Total Anual al 70% de producción [USD]
1	Acero AISI 304	1,2	1200*2400*0,7 [mm]	42,35	50,82	12196,8	146362	102453,12
2	Acero AISI 430	0,5	1200*2400*0,7 [mm]	41,7	20,85	5004	60048	42033,6
3	Acero Galvanizado	0,6	1200*2400*0,7 [mm]	19	11,4	2736	32832	22982,4
4	Vidrio templado	2	350*300*4 [mm]	15	30	7200	86400	60480
5	Pegamento vidrio	1	310 [ml]	8	8	1920	23040	16128
6	Manilla	1	50 [mm]	6	4	960	11520	8064
7	Resistencia eléctrico	3	1500 [W], 1260[W], 700 [W]	15	45	10800	129600	90720
8	Ventilador	1	53 [W]	12	12	2880	34560	24192
9	Tarjeta arduino	1		20	20	4800	57600	40320
10	Termocupla/cableado	1	Tipo K	21	21	5040	60480	42336
11	Interruptores	2		0,25	0,5	120	1440	1008
12	Pantalla digital	1	16*4	13	13	3120	37440	26208
13	Teclado	1	4*4	5	5	1200	14400	10080
14	empaques	4	1000 [mm]	0,5	2	480	5760	4032
15	Lana de vidrio	8	1 [Kg]	1,75	14	3360	40320	28224
16	Tornillería				2	480	5760	4032
17	Lámpara + bombilla	1	25 [W]	20	20	4800	57600	40320
Total					279,57	67096,8	805162	563613,12

Fuente: Propia

Estos valores fueron cotizados en febrero del 2016; se considera que el tiempo de vida del proyecto será de 6 años, para lo cual se deberá calcular el aumento de los precios según la proyección de la inflación de los últimos años.

Para poder determinar el incremento en los precios que se presentarán en los años siguientes de vida del proyecto es necesario conocer la proyección de la inflación. Para lo cual se conoce los valores de inflación que se han registrado en el país desde el año 2005 hasta el 2013 en (Últimas noticias, 2014) y desde el 2013 hasta el 2016 en (INEC, Índice del precios al consumidor, 2015), estos valores se registran en la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Tabla inflación 2005 – 2015.

Año	Inflación [%]
2005	3,14
2006	2,87
2007	3,32
2009	4,31
2010	3,33
2011	5,41
2012	4,16
2013	2,7
2014	3,67
2015	3,38

Fuente: INEC. (Diciembre de 2015). *Índice del precios al consumidor*. Ecuador. *Últimas noticias*. (07 de enero de 2014). Recuperado el 07 de marzo de 2016 de ÁNDES/ Agencia pública de noticias del Ecuador y Suramérica: <http://www.andes.info.ec/es/noticias/ecuador-registro-2013-inflacion-anual-270-mas-baja-hace-ocho-anos.html>.

En la gráfica 5.1 se muestra la curva realizada con los valores de la tabla 5.4, y se nota que no tiene una correlación tan buena, esto es debido a la forma en la que ha ido variando el índice de inflación en los últimos años, aun así, se obtiene la curva con la mayor correlación posible, para poder calcular el posible aumento o disminución de la inflación en los años siguientes.

Para la proyección se utilizará una línea de tendencia logarítmica, obteniendo así los valores de índice de inflación que se muestran en la tabla 5.5.

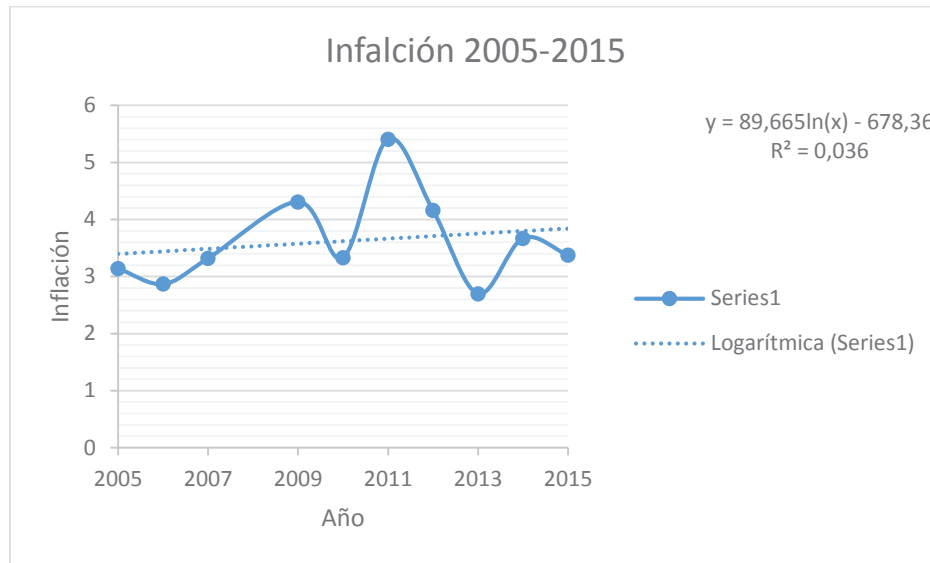


Gráfico 5.1. Gráfica inflación 2005 – 2015

Fuente: Propia

Tabla 5.5. Tabla proyección inflación 2017 -2021

Año	Inflación [%]
2016	3,89
2017	3,93
2018	3,98
2019	4,02
2020	4,07
2021	4,11

Fuente: Propia

Con los valores de la tabla 5.5 se calcularán todos los aumentos de precios para los años de vida del proyecto, excepto para la inflación de sueldos y salarios, ya que para este cálculo se conocen los valores registrados de sueldos y salarios básicos desde el año 2012 (Ecuador online legal , 2016), y se muestran en la tabla 5.6

Tabla 5.6. Tabla sueldos 2012 – 2016

Año	Sueldo [USD]
2012	292
2013	318
2014	340
2015	354
2016	366

Fuente: *Ecuador online legal* ,(s.f.). Recuperado el 03 de marzo de 2016 de Tablas sectoriales : <http://www.ecuadorlegalonline.com/tag/tablas-sectoriales/>

En la gráfica 5.2 se muestra la tendencia con la que han ido incrementándose estos valores y es de ahí de donde obtendremos una línea de tendencia con la cual calcularemos nuestra proyección de sueldos y salarios.

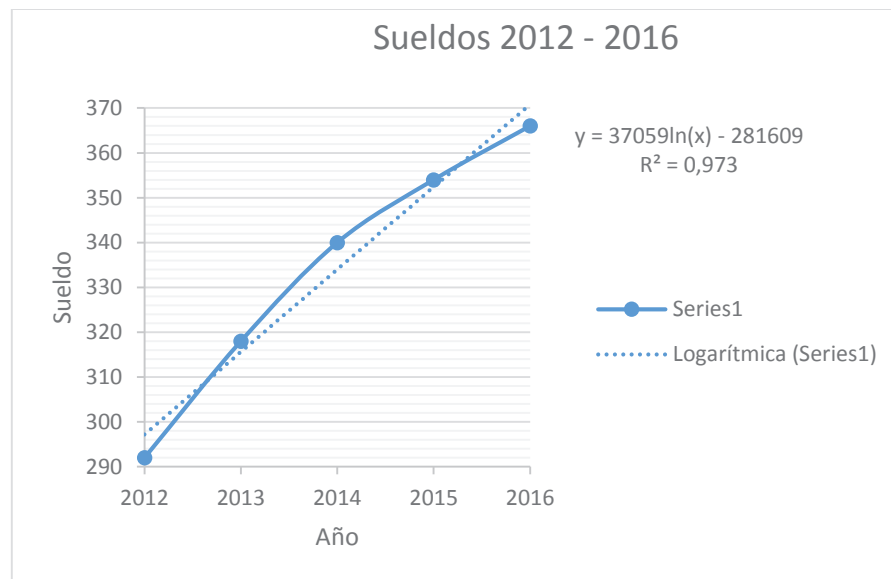


Gráfico 5.2. Grafica sueldos 2012 – 2016.

Fuente: Propia

Para calcular los sueldos y salarios de los trabajadores durante la vida del proyecto de aplicará la línea de tendencia logarítmica que se muestra en la gráfica 5.2, dando como

resultado los valores que se registran en la tabla 5.7; de los cuales se tomará el porcentaje de incremento y se aplicará a todos los sueldos y salarios de la empresa.

Tabla 5.7. Tabla proyección de sueldos 2017 – 2021

Año	Sueldo [USD]	Aumento [%]
2017	386,5	5,61
2018	404,9	4,75
2019	423,2	4,53
2020	441,6	4,34
2021	459,9	4,15

Fuente: Propia

En la tabla 5.8 se muestra los costos de materia prima y materiales directos para los años de vida del proyecto, aplicando la inflación calculada, para materia prima y con el respectivo aumento en la producción.

Tabla 5.8. Costos directos para la vida útil del proyecto.

Año	Índice Inflación %	Material al 100% de producción	Porcentaje de Producción [%]	Costo anual [USD]
2016	3,89	805161,60	0,70	S/. 563.613,12
2017	3,93	836835,45	0,80	S/. 669.468,36
2018	3,98	870127,23	0,90	S/. 783.114,51
2019	4,02	905129,98	1,00	S/. 905.129,98
2020	4,07	941942,66	1,00	S/. 941.942,66
2021	4,11	980670,57	1,00	S/. 980.670,57

Fuente: Propia

Con la maquinaria y herramientas adquiridas de la tabla 5.1 y para una producción de 2880 se requiere un total de 20 obreros, en la tabla 5.9 se registran la asignación de personal según el área de producción y los salarios de los mismos.

Tabla 5.9. Asignación de personal y salarios directos.

Trabajador	Nº de personas	SBU [USD]	Sueldo [USD]	Sueldo anual [USD]	Aporte IESS mensual [USD]	Aporte IESS Anual [USD]	14VO [USD]	13VO [USD]	Fondos de reserva [USD]	Vacaciones [USD]	Total [USD]
Área de corte	4	366	1464	17568	163,236	1958,832	366	1494,50	366	366	22119,33
Área de prensado	4	366	1464	17568	163,236	1958,832	366	1494,50	366	366	22119,33
Área de doblado	4	366	1464	17568	163,236	1958,832	366	1494,50	366	366	22119,33
Área de soldadura	2	366	732	8784	81,618	979,416	366	762,50	366	366	11623,92
Área de ensamblaje	5	366	1830	21960	204,045	2448,54	366	1860,50	366	366	27367,04
Montacargas	1	366	366	4392	40,809	489,708	366	396,50	366	366	6376,21
TOTAL	20	2196	2928	35136	816,18	9794,16	2196	7503	2196	2196	111725,16

Fuente: Propia

En la tabla 5.10 se registran los valores de mano de obra directa para todo el tiempo de vida del proyecto, calculado en base al porcentaje aumento de la tabla 5.7.

Tabla 5.10. Costo de sueldos directos para los años de vida del proyecto.

Año	Porcentaje de variación %	Mano de obra para el 100%	Porcentaje de Producción	Costo anual [USD]
2016	3,39	111725,16	0,70	S/. 78.207,61
2017	5,61	117987,43	0,80	S/. 94.389,94
2018	4,75	123594,68	0,90	S/. 111.235,21
2019	4,53	129199,15	1,00	S/. 129.199,15
2020	4,34	134800,85	1,00	S/. 134.800,85
2021	4,15	140399,78	1,00	S/. 140.399,78

Fuente: Propia

5.2.1.2. Costo de fabricación

Aquí se desglosan los rubros que se involucran en la fabricación, pero no dependen del número de hornos que se produzcan, aquí se presupuesta costos varios como de agua, luz, útiles de oficina, mano de obra indirecta, entre otros el detalle de este rubro y su respectiva proyección de muestran en la tabla que se registra en el **Anexo I**.

5.2.1.3. Gastos de administración

Este rubro es derivado del manejo administrativo que se presenta en la empresa, aquí se toma en cuenta costos varios que se desglosan en la tabla del **Anexo I**, con su respectiva proyección también se registran los sueldos del personal administrativo, en la tabla 5.11 se muestran la distribución del personal y su respectiva asignación salarial.

Tabla 5.11. Asignación de personal y salarios administrativos.

Trabajador	Nº de personas	SBU [USD]	Sueldo [USD]	Sueldo anual [USD]	Aporte IESS mensual [USD]	Aporte IESS Anual [USD]	14VO [USD]	13VO [USD]	Fondos de reserva [USD]	Vacaciones [USD]	Total [USD]
Gerente general	1	1800	1800	21600	200,7	2408,4	1828,33	340	1800	1800	29776,7
Ingeniero de Producción	1	1400	1400	16800	156,1	1873,2	1428,33	340	1400	1400	23241,5
Ingeniero de Diseño y mantenimiento	1	1400	1400	16800	156,1	1873,2	1428,33	340	1400	1400	23241,5
Secretaria general	1	800	800	9600	89,2	1070,4	828,33	340	800	800	13438,7
Secretaria de producción y diseño	1	800	800	9600	89,2	1070,4	828,33	340	800	800	13438,7
Contadora	1	1200	1200	14400	133,8	1605,6	1228,33	340	1200	1200	19973,9
Guardia	3	600	1800	21600	602,1	7225,2	1828,33	340	1800	1800	34593,5
TOTAL	9	8000	9200	110400	1427,2	17126,4	9200	9200	9200	9200	157705

Fuente: Propia

En la tabla 5.12 se registra el valor total de sueldos añadido el porcentaje del cálculo de la inflación para el periodo de vida del proyecto.

Tabla 5.12. Costo de sueldos administrativos para los años de vida del proyecto.

Año	Porcentaje de variación %	Mano de obra para el 100%	Porcentaje de Producción	Costo anual [USD]
2016	3,39	157704,73	1,00	S/. 157.704,73
2017	5,61	166544,18	1,00	S/. 166.544,18
2018	4,75	174459,05	1,00	S/. 174.459,05
2019	4,53	182370,00	1,00	S/. 182.370,00
2020	4,34	190277,03	1,00	S/. 190.277,03
2021	4,15	198180,15	1,00	S/. 198.180,15

Fuente: Propia

5.2.1.4. Gastos de ventas

Los costos que se presentan en este apartado se desglosan del dinero utilizado en promover la venta de los hornos, aquí también se encuentran costos básicos como pago de agua, luz, comunicaciones, útiles de oficina entre otros que se puede denominar gastos varios, pero los más importantes son gastos en publicidad, comisión a vendedores y los sueldos y salarios para los mismos, en el **Anexo I** se detallan estos valores y sus proyecciones.

Los vendedores tendrán un salario básico que se muestra en la tabla 5.13, pero adicional a esto tendrán un porcentaje en venta del 4%, valor que se registrar en la tabla del **Anexo I**.

Tabla 5.13. Asignación de personal y salarios en ventas

Trabajador	Nº de personas	SBU [USD]	Sueldo [USD]	Sueldo anual [USD]	Aporte IESS mensual [USD]	Aporte IESS Anual [USD]	14VO [USD]	13VO [USD]	Fondos de reserva [USD]	Vacaciones [USD]	Total [USD]
Gerente de marketing y ventas	1	1200	1200	14400	133,8	1605,6	1228,33	340	1200	1200	19973,9
Vendedores	6	366	2196	26352	1469,124	17629,49	2224,33	340	2196	2196	50937,8
TOTAL	7	1566	3396	40752	1602,924	19235,09	3452,67	680	3396	3396	70911,8

Fuente: Propia

En la tabla 5.14 se muestran los valores los cotos totales del personal de sueldos añadido el porcentaje del cálculo de la variación para el periodo de vida del proyecto.

Tabla 5.14. Costo de sueldos por ventas para los años de vida del proyecto.

Año	Porcentaje de variación %	Costo anual
2016	3,39	S/. 70.911,75
2017	5,61	S/. 74.886,40
2018	4,75	S/. 78.445,32
2019	4,53	S/. 82.002,46
2020	4,34	S/. 85.557,85
2021	4,15	S/. 89.111,48

Fuente: Propia

5.2.1.1. *Gastos de financieros*

Este rubro se considera en el caso de que se inicie el proyecto con un préstamo bancario y se debe hacer abonos mensuales consolidados anualmente; para este caso se realizará el ejemplo con la cotización de un préstamo de 600 000 dólares americanos, para poder cubrir la inversión inicial, a un plazo de 6 años al 6.9% de interés, que es a lo que la Corporación Nacional Financiera (CFN), otorga créditos de emprendimiento; lo que nos da una cuota anual de 122400 dólares. En la tabla del **Anexo I** se registra este rubro para cada uno de los años de vida del proyecto.

5.3. DEPRECIACIÓN.

La ley permite a los empresarios considerar a la depreciación como un costo y se aplica a los equipos, enceres, herramientas, vehículos, equipos de computación y oficina; es por ello que en la tabla 5. 15 se presenta el cálculo de la depreciación en estos bienes.

Tabla 5.15. Calculo de la depreciación.

Rubros	Valor inicial [USD]	Vida útil	Porcentaje de depreciación [%]	Valor residual [USD]	Depreciación anual [USD]
Obras de ingeniería. Edificios	129940	6	5%	90958	6497,00
Vehículo	75000	6	20%	1	12499,83
Maquinaria y equipo de planta	253080	6	10%	101232	25308,00
Muebles de oficina	8088	6	10%	3235,2	808,80
Equipos de computación	13014,97	6	33%	1	2169,00
TOTAL	479122,97			195427,2	47282,63

Fuente: Propia

5.4. INGRESOS

En el mercado nacional se encuentran ya varios modelos de hornos eléctricos que se comercializan, entre ellos tenemos modelos desde 450 USD hasta los 1200 USD, precios cotizados en febrero del 2016; según estos precios se pretende poner al mercado el horno eléctrico doméstico con convección forzada a un precio promedio de

570 USD. En las tablas 5.16 y 5.17 se muestran los ingresos totales del proyecto, con su respectivo cálculo de inflación y aumento de producción anual.

Tabla 5.16. Tabla de ingresos para los 3 primeros años de vida.

	AÑO 1			AÑO 2			AÑO 3		
	CANTIDAD	P / U	TOTAL	CANTIDAD	P / U	TOTAL	CANTIDAD	P / U	TOTAL
HORNO ELÉCTRICO	2.016	570	1149120	2304	624	1.436.782	2592	648	1.680.684
VENTAS NETAS			1149120			1436781,6			1680683,57

Fuente: Propia

Tabla 5.17. Tabla de ingresos para los 3 últimos años de vida.

	AÑO 4			AÑO 5			AÑO 6		
	CANTIDAD	P / U	TOTAL	CANTIDAD	P / U	TOTAL	CANTIDAD	P / U	TOTAL
HORNO ELÉCTRICO	2880	674	1.942.55	2880	702	2021553,08	2880	731	2.300.1
VENTAS NETAS			1942547,44			2021553,08			2300096,3

Fuente: Propia

5.5. ESTADO PROFORMA DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS

Una vez registrados los ingresos y costos del proyecto, se realiza el cálculo del flujo de efectivo, para así poder determinar la utilidad neta. En el **Anexo J** se registra el flujo de efecto, el mismo que se obtiene de la suma de todos los ingresos menos los egresos.

Los ingresos y egresos registrados son los que se mencionaron anteriormente, con excepción de los egresos del 15% por reparto de utilidades para los trabajadores y el 22% de impuesto a la renta. En el **Anexo J** se tabulan los valores correspondientes a la inversión fija e inversión corriente, también los rubros por depreciación de los equipos y se registra un ingreso igual al valor residual de los bienes depreciados.

En el **anexo J** podemos observar que desde el primer año el proyecto genera una utilidad positiva.

5.6. EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación financiera de proyecto depende de 5 indicadores, los cuales son:

- Valor actual neto (VAN)
- Tasa interna de retorno (TIR)
- Relación beneficio costo (B/C)
- Tiempo de recuperación de la inversión (TRI)
- Rentabilidad

5.6.1. VAN y TIR

Para poder determinar el VAN del proyecto se tiene un costo de oportunidad del 7% anual, valor promedio del interés ganado con depósitos a plazo fijo (Banco Central del Ecuador , 2016).

En la tabla 5.18 encontramos el flujo neto de efectivo, los cuales son llevados al valor presente con un costo de oportunidad del 7% anual, para el cálculo del VAN y con el flujo neto se calcula el valor del TIR.

Tabla 5.18. Flujo de efectivo.

AÑOS	INVERSIONES [USD]	INGRESOS [USD]	F. N. Act (7%) [USD]
0	546786,12		-546786,12
1	91.426,72	50409,80	-43800,73
2		139231,44	121610,13
3		195169,45	159316,41
4		255897,48	195222,96
5		268229,14	191243,67
6		601641,24	400898,96
		VAN	477705,28
		TIR	22.14%

Fuente: Propia

5.6.2. Relación beneficio costo (B/C)

La relación beneficio costo es la relación entre el total de los ingresos y egresos llevados a valor presente, en los ingresos se considera en el año 6 el adicional por el valor residual de la depreciación de los bienes y en los egresos todos los costos y gastos, también el pago de utilidades, impuestos y la inversión corriente al primer mes, que es equivalente a $n = \frac{1}{12} = 0.08$; se muestra en la tabla 5.19.

Tabla 5.19. Relación beneficio costo

AÑOS	INGRESOS [USD]	INGRESOS ACTUALIZADOS [USD]	EGRESOS [USD]	EGRESOS ACTUALIZADO [USD]
0			546786,12	546786,12
0,08			91426,72	90912,69
1	1149120,00	1073943,93	1097120,68	1025346,43
2	1436781,55	1254940,65	1250812,93	1092508,46
3	1680683,57	1371938,43	1410343,89	1151260,72
4	1942547,44	1481960,14	1580611,94	1205841,28
5	2021553,08	1441339,41	1641017,79	1170023,00
6	2495523,50	1662872,68	1711438,99	1140404,06
TOTAL		8286995,23	TOTAL	7423082,77
			B/C	1,116

Fuente: Propia

5.6.3. Tiempo de recuperación de la inversión y rentabilidad

El tiempo de recuperación de la inversión se determina con la diferencia entre la inversión inicial y el valor presente de la utilidad neta efectiva de cada año, hasta obtener un resultado positivo. En la tabla 5.20 se muestran estos valores.

Tabla 5.20. Tiempo de recuperación de capital y rentabilidad

AÑOS	FLUJO NETO	F. N. Act (7%)	INVERSIONES	TRC [USD]
0			546786,12	-546786,12
0,08		90933,20	91426,72	-90933,20
1	50409,80	47111,96		-590607,36
2	139231,44	121610,13		-468997,22
3	195169,45	159316,41		-309680,82
4	255897,48	195222,96		-114457,86
5	268229,14	191243,67		76785,82
6	601641,24	400898,96		477684,78

Fuente: Propia

5.6.4. Indicadores de rentabilidad

En la tabla 5.21 podemos ver el resumen de los indicadores de rentabilidad.

Tabla 5.21. Indicadores de rentabilidad

Indicadores	Resultado	Viabilidad
VAN	477705,28	Viable
TIR	22,14	Viable
B/C	1,116	Viable
TRC	5,00	Viable

Fuente: Propia

De la tabla 5.21 se concluye que el proyecto es económicamente viable.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Al realizar este estudio, si bien la parte estructural del horno eléctrico doméstico, no es la parte fundamental, a través del cálculo teórico se ha demostrado que, el espesor de la chapa de acero $t = 0,7 \text{ mm}$, que usan pequeños y medianos fabricantes nacionales de hornos de forma empírica, es correcta, pues se ha respaldado el cálculo teórico, con la simulación mediante elementos finitos, corroborando así los resultados.
- Se ha usado en el análisis térmico, el método del balance de energías con el propósito de detallar todos los tipos de calor que intervienen en el sistema, y obtener un resultado mucho más aproximado.
- Los calores por reacciones exotérmicas y endotérmicas que se producen en las masas durante la cocción, son pequeñas, las obtenidas en el cálculo teórico son $Q_{exo} = 11,3 \text{ W}$ y $\dot{Q}_{end} = 22,61 \text{ W}$, por lo que se concluye que estos calores son irrelevantes en el diseño de un horno doméstico comparado con el calor total de entrada de la fuente de energía que es $\dot{Q}_{elec} = 3460 \text{ W}$, como se reafirma en el estudio realizado por Carzino, Márcio César (2006).
- La mayor cantidad de calor entregada al alimento se produce mediante, transferencia de calor por radiación, sin embargo, la transferencia de calor por convección forzada con los parámetros de velocidad establecidos $v = 1.9 \text{ m/s}$, mejora en 375,42 % en comparación con la transferencia de calor por convección natural, he aquí la importancia de implementar ventiladores para mejorar la eficiencia energética de un horno.
- De acuerdo con las pruebas realizadas por Carson, Willix & North (2004), el valor del coeficiente de transferencia de calor por convección forzada para hornos domésticos, se encuentra entre 10 y 40 $\text{W/m}^2\text{K}$. El valor del coeficiente de transferencia de calor por convección forzada calculado es de 10,04 $\text{W/m}^2\text{K}$,

lo que indica que el modelo de cálculo utilizado para el diseño del horno eléctrico doméstico es correcto.

- Las pérdidas de calor que se producen en el horno eléctrico doméstico, sin dudas son la parte medular de este estudio, pues sugiere un reto para el diseñador, hacer uso de un material aislante eficiente, económico, manejable, y amigable con el ambiente, que minimice dichas pérdidas. El valor de las pérdidas de calor calculadas es $Q_{perd} = 184,83 W$, con un espesor de lana de vidrio $\Delta x = 56,80 [mm]$, sin embargo, para el diseño se usa el valor $\Delta x = 64 [mm]$, que corresponde al valor del espacio entre vidrios de la puerta, necesario para alcanzar una temperatura segura en la superficie exterior de la puerta.
- Mediante una simulación CFD y de transferencia de calor combinadas, los resultados obtenidos para la temperatura superficial exterior del horno T_s en promedio es $T_s = 51,92^\circ C$, a excepción de algunos puntos localizados en la puerta en donde se alcanzan una temperatura máxima $T_s = 97,61^\circ C$, sin embargo, considerando que la norma NTE INEN 2259 menciona que las temperaturas en las superficies exteriores del horno no deben sobrepasar la temperatura ambiente en más de $100^\circ C$, se puede concluir que los resultados son válidos.
- La simulación CFD, realizada indica en los resultados, una uniformidad en la temperatura del aire de la cámara de cocción, reafirmando así la innegable ventaja de usar un ventilador para mejorar la transferencia de calor por convección en el interior de la cámara del horno.
- Una vez realizado el estudio financiero del proyecto, se concluye que es económicamente viable, puesto se obtiene un VAN positivo, una tasa interna de retorno del 22%, la relación beneficio costo es positiva y el tiempo de recuperación del capital, está dentro de los 5 primeros años de proyecto.

6.2. RECOMENDACIONES

- Luego de realizar este estudio, se recomienda que, para el diseño de hornos de dimensiones semejantes, se use un espesor de chapa metálica $t = 0,7 \text{ mm}$, para la parte estructural, y se omita el cálculo minucioso de los mismos.
- Se recomienda que, para un posterior diseño o rediseño del horno eléctrico doméstico, se omita los calores por reacciones endotérmicas y exotérmicas en el cálculo teórico.
- A sabiendas de que el aislante térmico utilizado para el recubrimiento de las paredes, es primordial, se recomienda se considere nuevos tipos de aislante térmico para un nuevo diseño o rediseño de un horno eléctrico doméstico, con el propósito de mejorar la eficiencia y disminuir el espesor de la pared.
- La información financiera del proyecto es positiva, pero debido al capital que se requiere para poner en marcha este emprendimiento, se recomienda realiza un análisis de riesgo en proyectos de inversión.

BIBLIOGRAFÍA

- Ashrae, H. (2006). "*Refrigeration*". USA: Ashrae.
- Astigarraga, J. (1994). "*Hornos industriales de resistencias*". Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill.
- Avner, S. (1988). "*Introducción a la metalurgia física* . México": McGraw-Hill.
- Bergman , T., Lavine, A., Incropera, F., & DeWitt, D. (2011). "*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*". Unated States of America : Jhon Wiley and sons.
- Bonilla, O., & Díaz, O. (1992). "*Elementos básicos para el manejo de animales de granja*". San José, Costa rica: Universidad Estatal a distancia.
- Carson , J., Willix, J., & North, M. (2005). "*Measurements of heat transfer coefficients within convection ovens*".
- Carzino, M. (2006). "*Projeto e Análise para dimensionamento automático de fornos para cozimento de pães e biscoitos*". Curitiba, Brazil.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2012). "*Termodinámica*". Mexico: McGraw-Hill.
- Cengel, Y., & Climba, J. (2010). "*Fluid Mechanics*" (Vol. 1ra Edición). United States oh America : McGraw-Hill.
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). "*Transferencia de calor y masa*". Mexico: McGraw-Hill.
- Clive, D. (1970). "*Calculations in furnace technology*". Hungary: Pergamon Press.
- Creus, A. (2010). "*Instrumentación Industrial*" . México: McGraw-Hill.
- Daub, W. (2011). "*Química*". Mexico: Prentice-Hall.
- García, J., Teijón, J., Olmo, R., & García, C. (s.f.). "*Química Teoría y Problemas*". Madrid: Tebar Flores.
- Gere, J., & Goodno, B. (2009). "*Mechanics of materials*" (Vol. 7). United States: Cengage Learning.

- Hou-Cheng, H. (1989). "*Static and dynamic analyses of plates and shells* " (Vol. 1). Berlin: Springer.
- INEC. (2015). "*Indice del precios al consumidor*". Ecuador .
- INEN NTE 2259. (2000). "*Artefactos de uso doméstico para cocinar, que utilizan combustibles gaseosos. Requisitos e inspección*". Quito - Ecuador.
- J, L. M., & L, G. K. (2006). "*Engineering Mechanics Statics*". United States: Jhon Wiley & Son, Inc.
- Jacob , F., & Ted, B. (2007). "*A First Course in Finite Elements*". San Francisco - USA: Jhon Wiley & Sons, Ltd.
- Kreith, F., Manglik, R., & Bohn, M. (2012). "*Principios de transferencia de calor*". Mexico, D.F.: Cengage Learning Editores, S.A.
- Matz, S. (1960). "*Bakery technology and engineering*". Michigan: AVI Publishing Company.
- McCormac, J., & Csernak, S. (2012). "*Diseño de estructuras de acero*" (Vol. 5). México: Alfaomega.
- Miranda Navarro, M. (2012). "*Lo que he aprendido entre aromas y sabores*". Estados Unidos: Palibrio.
- Mott, R. (2009). "*Resistencia de materiales*" (Vol. 5 Ed). México: Pearson Prentice Hall.
- Omer W. (1991). "*Design of welded structures*". Cleveland - Ohio: James F. Lincoln Arc Welding Foundation.
- Romeva, C. (2002). "*Diseño concurrente*". Barcelona, España: ETSEIB-UPC.
- Roy, R., & Craig, J. (2011). "*Mechanics of materials*". United State: Jhon Wiley & Son.
- Sánchez, D., & Gonzáles, R. (2011). "*Cálculo de elementos estructurales*". Barcelona: La factoria.
- Warren C., & Richard G. (2007). "*Roark's Formulas for stress and strain*". New York: McGraw - Hill.

CITAS DE INTERNET

<http://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/mercado-de-cocinas-de-induccion.html>

<http://contenido.bce.fin.ec/docs.php?path=/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>

<http://www.bce.fin.ec/comercioExterior/comercio/consultaTotXNandinaConGrafico.jsp>

http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/hornosmicr_hojainfoespagnol.pdf

<http://www.emacin.com/silicona.html>

<http://www.ecuadorlegalonline.com/tag/tablas-sectoriales/>

<http://quito.exa.ec/Current.htm>

<http://www.telegrafo.com.ec/economia/item/el-88-del-glp-de-consumo-interno-es-importado.html>

<http://www.fnac.es/mp2685311/AEG-B-9872-5-M-horno>

<http://www.fritega.com.ec/revista.html#/46>

<http://data.irestal.com/files/files/2012030204152933979.pdf>

<http://www.si3ea.gov.co/Eure/9/inicio.html>

<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-estratificacion-del-nivel-socioeconomico/>

<http://clubdereposteria.com/medidas-y-porciones-de-tortas-continuacion/>

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/n tp_524.pdf

<http://www.patologiasconstruccion.net/2013/09/coeficiente-de-dilatacion-termica/>

<http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%20304.pdf>

<http://www.tramontina.com/productos/53226-bandeja-perforada-en-acero-inoxidable>

<http://www.andes.info.ec/es/noticias/ecuador-registro-2013-inflacion-anual-270-mas-baja-hace-ocho-anos.html>

<http://www.farq.edu.uy/construccion-i/files/2012/02/vidrios.pdf>

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema5.VIDRIO.pdf>

http://www.proyectoswhirlpool.com/detalle.php?id=24&id_categoria=&marca=&id_subcategoria=&busc

ANEXOS

Anexo B. Propiedades del acero AISI 304

ACERO INOXIDABLE 304 (UNS S30400)

1. Descripción: éste es el más versátil y uno de los más usados de los aceros inoxidable de la serie 300. Tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado. Se puede usar para aplicaciones de embutición profunda, de rolado y de corte. Tiene buenas características para la soldadura, no requiere recocido tras la soldadura para que se desempeñe bien en una amplia gama de condiciones corrosivas. La resistencia a la corrosión es excelente, excediendo al tipo 302 en una amplia variedad de ambientes corrosivos incluyendo productos de petróleo calientes o con vapores de combustión de gases. Tiene excelente resistencia a la corrosión en servicio intermitente hasta 870 °C y en servicio continuo hasta 925°C. No se recomienda para uso continuo entre 425 - 860°C pero se desempeña muy bien por debajo y por encima de ese rango.

2. Normas involucradas: ASTM A 276

3. Propiedades mecánicas: Resistencia a la fluencia 310 MPa (45 KSI)
Resistencia máxima 620 MPa (90 KSI)
Elongación 30 % (en 50mm)
Reducción de área 40 %
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

4. Propiedades físicas: Densidad 7.8 g/cm³ (0.28 lb/in³)

5. Propiedades químicas: 0.08 % C mín
2.00 % Mn
1.00 % Si
18.0 – 20.0 % Cr
8.0 – 10.5 % Ni
0.045 % P
0.03 % S

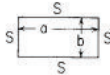
6. Usos: sus usos son muy variados, se destacan los equipos para procesamiento de alimentos, enfriadores de leche, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, tanques para almacenamiento de vinos y cervezas, partes para extintores de fuego.

7. Tratamientos térmicos: éste acero inoxidable no puede ser endurecido por tratamiento térmico. Para el recocido, caliente entre 1010 y 1120°C y enfríe rápidamente

NOTA:

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

Anexo C. Valores de las constantes β y γ

Case no., shape, and supports	Case no., loading	Formulas and tabulated specific values																																												
1. Rectangular plate; all edges simply supported 	1a. Uniform over entire plate	(At center) $\sigma_{\max} = \sigma_b = \frac{\beta qb^2}{t^2}$ and $y_{\max} = \frac{-\alpha qb^4}{Et^3}$ (At center of long sides) $R_{\max} = \gamma qb$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>a/b</th> <th>1.0</th> <th>1.2</th> <th>1.4</th> <th>1.6</th> <th>1.8</th> <th>2.0</th> <th>3.0</th> <th>4.0</th> <th>5.0</th> <th>∞</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>β</td> <td>0.2874</td> <td>0.3762</td> <td>0.4530</td> <td>0.5172</td> <td>0.5688</td> <td>0.6102</td> <td>0.7134</td> <td>0.7410</td> <td>0.7476</td> <td>0.7500</td> </tr> <tr> <td>α</td> <td>0.0444</td> <td>0.0616</td> <td>0.0770</td> <td>0.0906</td> <td>0.1017</td> <td>0.1110</td> <td>0.1335</td> <td>0.1400</td> <td>0.1417</td> <td>0.1421</td> </tr> <tr> <td>γ</td> <td>0.420</td> <td>0.455</td> <td>0.478</td> <td>0.491</td> <td>0.499</td> <td>0.503</td> <td>0.505</td> <td>0.502</td> <td>0.501</td> <td>0.500</td> </tr> </tbody> </table>	a/b	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	∞	β	0.2874	0.3762	0.4530	0.5172	0.5688	0.6102	0.7134	0.7410	0.7476	0.7500	α	0.0444	0.0616	0.0770	0.0906	0.1017	0.1110	0.1335	0.1400	0.1417	0.1421	γ	0.420	0.455	0.478	0.491	0.499	0.503	0.505	0.502	0.501	0.500
	a/b	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	∞																																			
β	0.2874	0.3762	0.4530	0.5172	0.5688	0.6102	0.7134	0.7410	0.7476	0.7500																																				
α	0.0444	0.0616	0.0770	0.0906	0.1017	0.1110	0.1335	0.1400	0.1417	0.1421																																				
γ	0.420	0.455	0.478	0.491	0.499	0.503	0.505	0.502	0.501	0.500																																				
1b. Uniform over small concentric circle of radius r_0 (note definition of r'_0)	(At center) $\sigma_{\max} = \frac{3W}{2\pi t^2} \left[(1 + \nu) \ln \frac{2b}{\pi r'_0} + \beta \right]$ $y_{\max} = \frac{-\alpha Wb^2}{Et^3}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>a/b</th> <th>1.0</th> <th>1.2</th> <th>1.4</th> <th>1.6</th> <th>1.8</th> <th>2.0</th> <th>∞</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>β</td> <td>0.435</td> <td>0.650</td> <td>0.789</td> <td>0.875</td> <td>0.927</td> <td>0.958</td> <td>1.000</td> </tr> <tr> <td>α</td> <td>0.1267</td> <td>0.1478</td> <td>0.1621</td> <td>0.1715</td> <td>0.1770</td> <td>0.1805</td> <td>0.1851</td> </tr> </tbody> </table>	a/b	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	∞	β	0.435	0.650	0.789	0.875	0.927	0.958	1.000	α	0.1267	0.1478	0.1621	0.1715	0.1770	0.1805	0.1851																					
a/b	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	∞																																							
β	0.435	0.650	0.789	0.875	0.927	0.958	1.000																																							
α	0.1267	0.1478	0.1621	0.1715	0.1770	0.1805	0.1851																																							

(Ref. 21 for $\nu = 0.3$)

(Ref. 21 for $\nu = 0.3$)

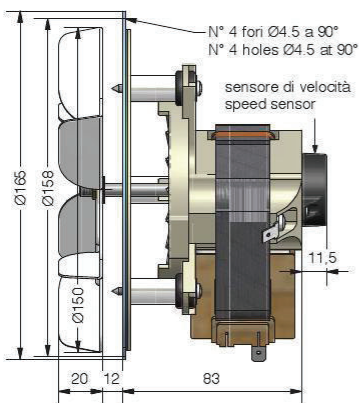
Fuente: Warren C, Y., & Richard G, B. (2007). *Roark's Formulas for stress and strain*. New York: McGraw - Hill.

Anexo D. Ventiladores para hornos marca AACO Manufacturing

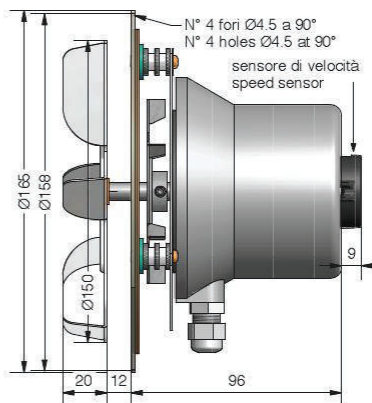
ESTRATTORI DI FUMO 120 - 150 PER STUFE A PELLET 120 - 150 FUME EXTRACTORS FOR PELLET STOVES

La chiocciola filettata e il sensore di velocità sono opzionali - Optional threaded housing and speed sensor

ST20 - 25



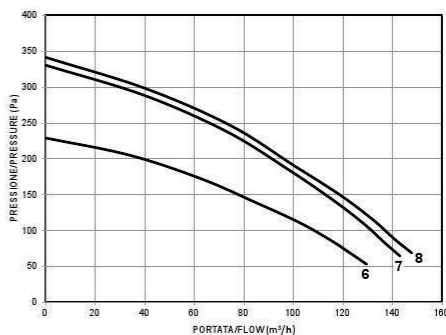
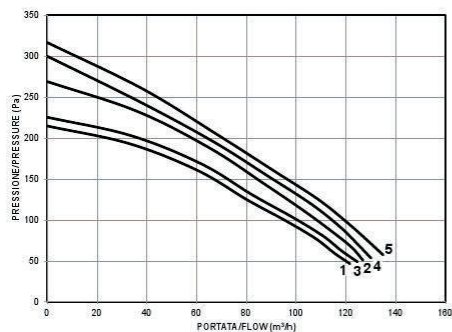
ST73



Modello	Ø Ventola	Foratura disco-flangia	Potenza Assorbita [W] Corrente assorbita [A]	Velocità rpm	Pressione Max [Pa]	Portata Max [m³/h]
Model	Ø Fan	Flange drilling	Input power [W] Input current [A]	Speed rpm	Max Pressure [Pa]	Max flow rate [m³/h]
1. ST20 - V.230/50	120 x 16	Ø 158	40 W / 0,32 A	2740	215	122
2. ST20 - V.230/50	150 x 20	Ø 158	44 W / 0,34 A	2680	269	127
3. ST25 - V.230/50	120 x 16	Ø 158	50 W / 0,38 A	2800	225	125
4. ST25 - V.230/50	150 x 20	Ø 158	52 W / 0,40 A	2760	300	130
5. ST25 - V.230/50	150 x 25	Ø 158	52 W / 0,40 A	2750	317	135
6. ST73 - V.230/50	120 x 16	Ø 158	32 W / 0,15 A	2810	229	130
7. ST73 - V.230/50	150 x 20	Ø 158	32 W / 0,14 A	2870	330	143
8. ST73 - V.230/50	150 x 25	Ø 158	32 W / 0,14 A	2860	341	148

ST20 - 25 motori a poli schermati, cuscinetti a sfere. Grado di Protezione IP 20. Temp. ambiente di esercizio -25/+75 °C
ST20 - 25 shaded-poles motors, shielded ball bearings. IP 20 Protection. Operating ambient temperature -25/+75 °C

ST73 motore asincrono monofase. Grado di Protezione IP 40. Temperatura ambiente di esercizio -25/+70 °C
ST73 asynchronous single-phase motor. IP 40 Protection. Operating ambient temperature -25/+70 °C



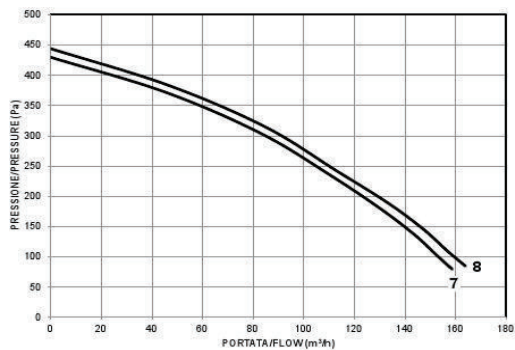
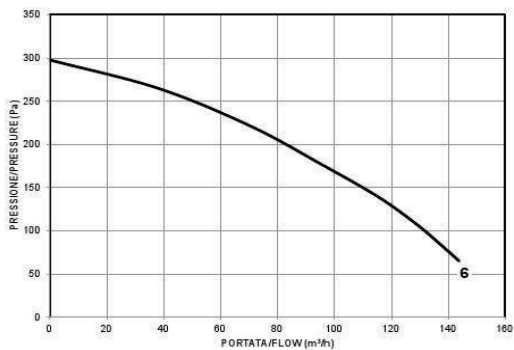
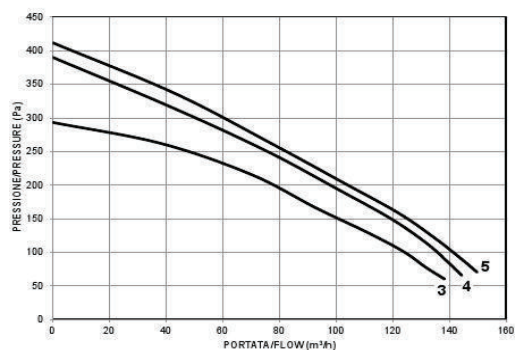
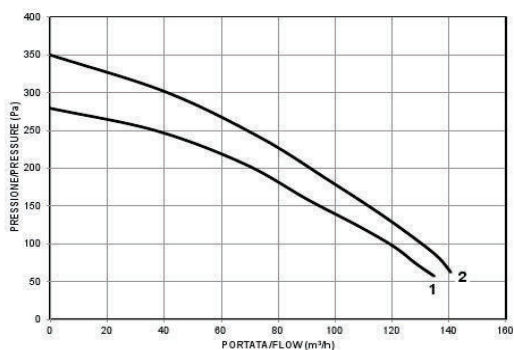
ESTRATTORI DI FUMO PER STUFE A PELLETT FUME EXTRACTORS FOR PELLETT STOVES

ST20 - 25 - 73 V. 120 Hz. 60 VERSION

Modello	Ø Ventola	Foratura disco-flangia	Potenza Assorbita [W] Corrente assorbita [A]	Velocità rpm	Pressione Max [Pa]	Portata Max [m³/h]
Model	Ø Fan	Flange drilling	Input power [W] Input current [A]	Speed rpm	Max Pressure [Pa]	Max flow rate [m³/h]
1●ST20 - V.120/60	120 x 16	Ø 158	48 W / 0,50 A	3288	279	135
2●ST20 - V.120/60	150 x 20	Ø 158	53 W / 0,50 A	3216	349	141
3●ST25 - V.120/60	120 x 16	Ø 158	60 W / 0,57 A	3360	293	138
4●ST25 - V.120/60	150 x 20	Ø 158	62 W / 0,60 A	3312	390	144
5●ST25 - V.120/60	150 x 25	Ø 158	62 W / 0,60 A	3300	411	150
6●ST73 - V.120/60	120 x 16	Ø 158	38 W / 0,23 A	3372	298	130
7●ST73 - V.120/60	150 x 20	Ø 158	38 W / 0,21 A	3444	430	159
8●ST73 - V.120/60	150 x 25	Ø 158	38 W / 0,21 A	3430	444	164

ST20 - 25 motori a poli schermati, cuscinetti a sfere. Grado di Protezione IP 20. Temp ambiente di esercizio -25/+75 °C
ST20 - 25 shaded-poles motors, shielded ball bearings. IP 20 Protection. Operating ambient temperature -25/+75 °C

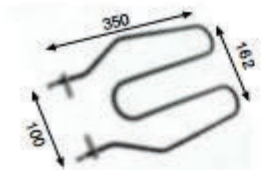



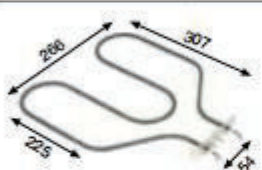

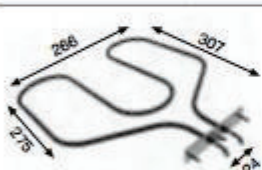
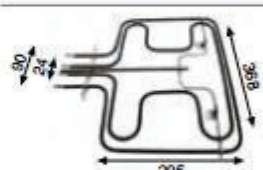

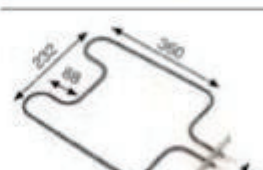
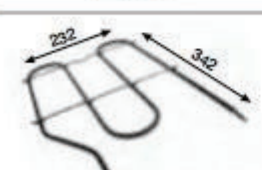

ST73 motore asincrono monofase. Grado di Protezione IP 40. Temperatura ambiente di esercizio -25/+70 °C
ST73 asynchronous single-phase motor. IP 40 Protection. Operating ambient temperature -25/+70 °C



Fuente: Ventilators. (s.f.). Recuperado el 13 de septiembre de 2015 de http://issuu.com/aaco/docs/aaco_ventilators

Anexo E. Catálogo ELCOM

HORNOS

	H-6047 1.100W FAGOR		H-6053 750W MOULINEX
	H-6048 1.100W FAGOR		H-6054 1.600+1.500W TEKA
	H-6049A 1.500W 220V TEKA		H-6055 1.600W FAGOR
	H-6049E 1.500W 220V TEKA		H-6056 900+1.800W FAGOR
	H-6050 1.000W TEKA		H-6057 1.100W CORCHO SUPER-SER
	H-6052 1.500W MOULINEX		H-6058 1.400+700W FAGOR

37

www.elcomresistencias.com

ELCOM

HORINOS

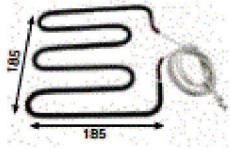
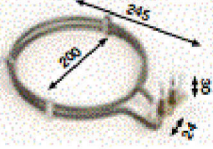
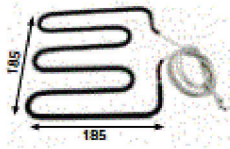
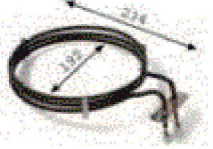
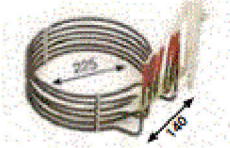
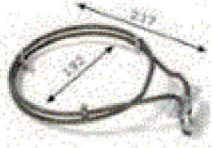
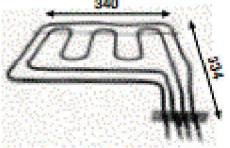
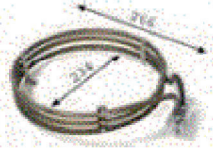
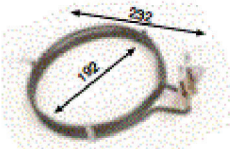


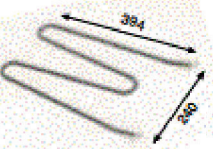
HORINOS

	H-6091 700W GRILL SAMMIC		H-6097 2.500W 220V PHILIPS WHIRL-POOL
	H-6092 1.000W GRILL SAMMIC		H-6099 3.000W 220V DOBRA
	H-6093 7.350W HORNO GIORIK		H-6100 1.260W 220V DOBRA
	H-6094 900+1.600W 230V BALAY		H-6101 3.750W 220V GAYC
	H-6095 2.500W 230V EUROFRED ZANUSSI		H-6102 2.550W 220V GAYC
	H-6096 2.700W 220V PHILIPS WHIRL-POOL		H-6103 1.000W 220V ADISA

EICOM

www.elcomresistencias.com

HORROS

	H-6091 700W GRILL SAMMIC		H-6097 2.500W 220V PHILIPS WHIRL-POOL
	H-6092 1.000W GRILL SAMMIC		H-6099 3.000W 220V DOBRA
	H-6093 7.350W HORNO GIORIK		H-6100 1.260W 220V DOBRA
	H-6094 900+1.600W 230V BALAY		H-6101 3.750W 220V GAYC
	H-6095 2.500W 230V EUROFRED ZANUSSI		H-6102 2.550W 220V GAYC
	H-6096 2.700W 220V PHILIPS WHIRL-POOL		H-6103 1.000W 220V ADISA

ELCOM

www.elcomresistencias.com

Fuente: ELCOM. (s.f). Recuperado el 10 de noviembre de 2015 de http://www.elcomresistencias.com/wp-content/uploads/2012/10/Elcom_catalogo_2012.pdf

Anexo F. Propiedades de la fibra de vidrio

Appendix A ■ Thermophysical Properties of Matter

TABLE A.3 Continued

Insulating Materials and Systems

Description/Composition	Typical Properties at 300 K		
	Density, ρ (kg/m ³)	Thermal Conductivity, k (W/m·K)	Specific Heat, c_p (J/kg·K)
Blanket and Batt			
Glass fiber, paper faced	16	0.046	—
	28	0.038	—
	40	0.035	—
Glass fiber, coated; duct liner	32	0.038	835
Board and Slab			
Cellular glass	145	0.058	1000
Glass fiber, organic bonded	105	0.036	795
Polystyrene, expanded			
Extruded (R-12)	55	0.027	1210
Molded beads	16	0.040	1210
Mineral fiberboard; roofing material	265	0.049	—
Wood, shredded/cemented	350	0.087	1590
Cork	120	0.039	1800
Loose Fill			
Cork, granulated	160	0.045	—
Diatomaceous silica, coarse	350	0.069	—
Powder	400	0.091	—
Diatomaceous silica, fine powder	200	0.052	—
	275	0.061	—
Glass fiber, poured or blown	16	0.043	835
Vermiculite, flakes	80	0.068	835
	160	0.063	1000
Formed/Foamed-in-Place			
Mineral wool granules with asbestos/inorganic binders, sprayed	190	0.046	—
Polyvinyl acetate cork mastic; sprayed or troweled	—	0.100	—
Urethane, two-part mixture; rigid foam	70	0.026	1045
Reflective			
Aluminum foil separating fluffy glass mats; 10–12 layers, evacuated; for cryogenic applications (150 K)	40	0.00016	—
Aluminum foil and glass paper laminate; 75–150 layers; evacuated; for cryogenic application (150 K)	120	0.000017	—
Typical silica powder, evacuated	160	0.0017	—

Fuente: Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. United States of America: John Wiley and sons.

Anexo G. Resultados de la simulación de transferencia de calor y CFD

A continuación, se presentan los resultados de la simulación con convección forzada y convección natural

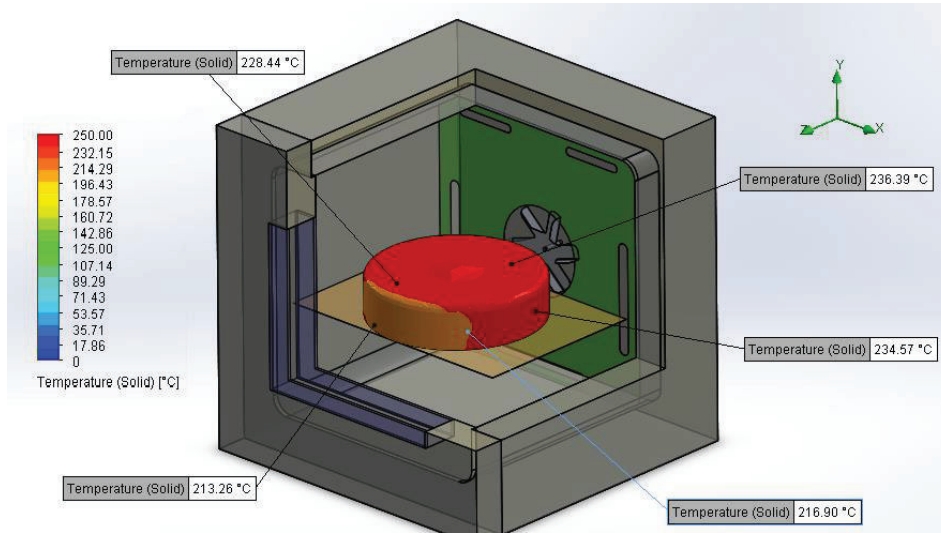


Figura G. 1. Temperatura superficial del pastel con convección forzada

Fuente: Propia

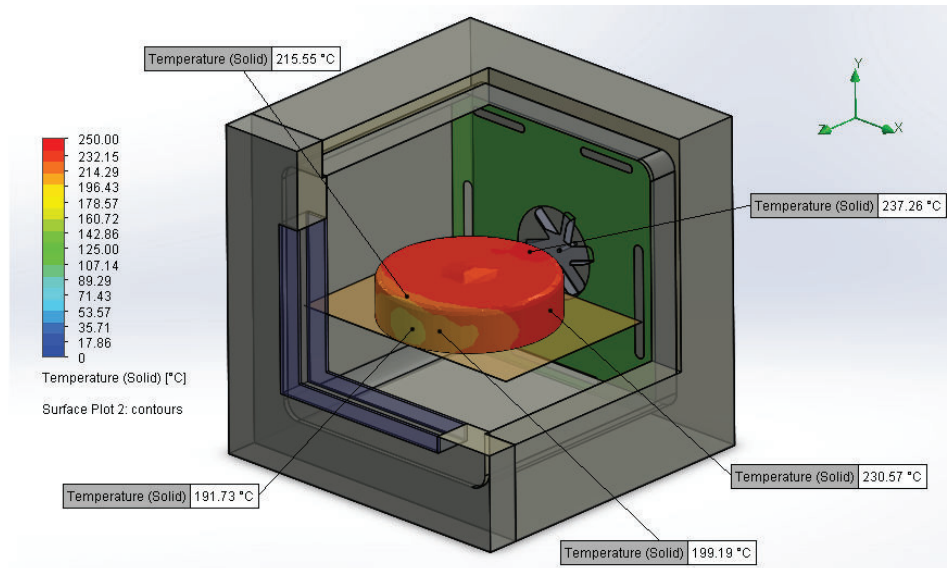


Figura G. 2. Temperatura superficial del pastel con convección natural

Fuente: Propia

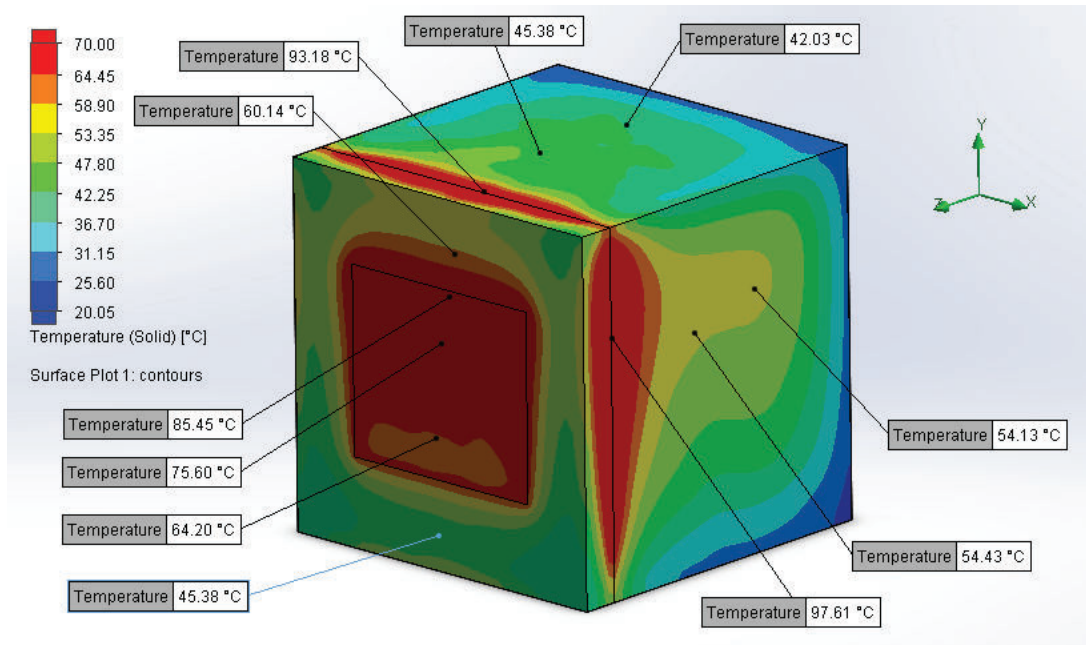


Figura G. 3. Temperatura en la superficie exterior del horno

Fuente: Propia

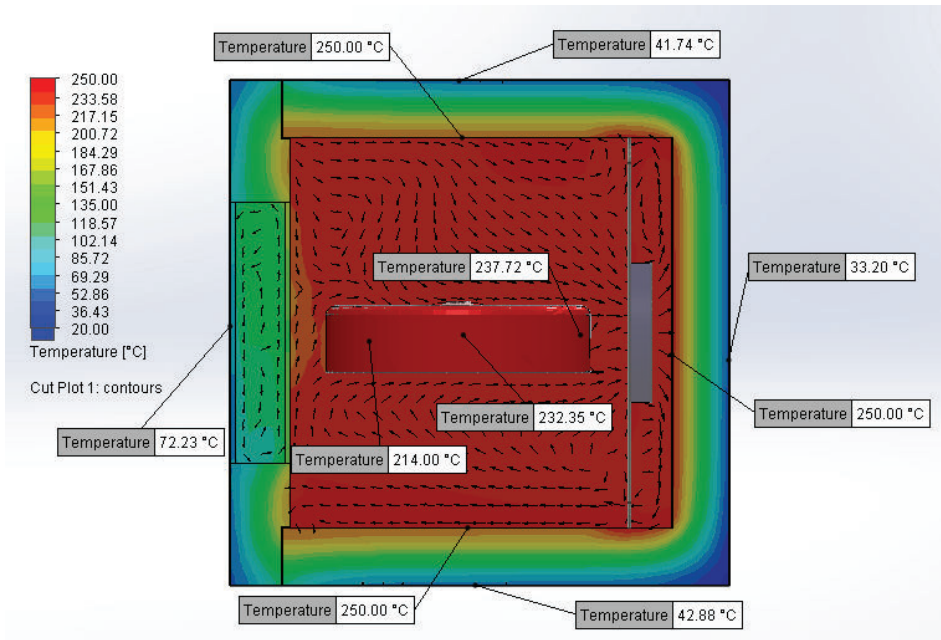


Figura G. 4. Distribución de temperatura en el plano vista lateral 0 [m]

Fuente: Propia

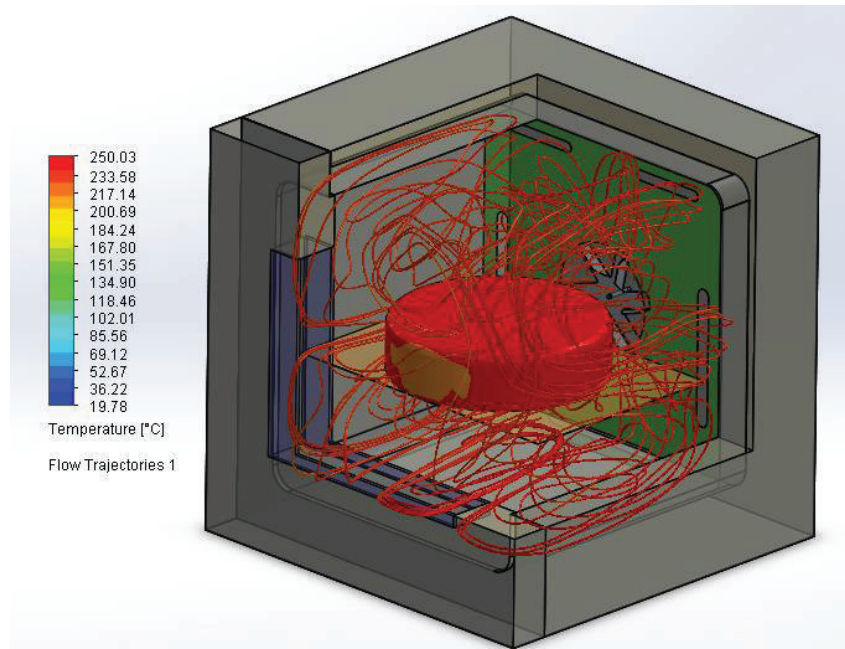


Figura G. 5. Combinación óptima entre rejilla y ventilador para uniformizar la temperatura del aire

Fuente: Propia

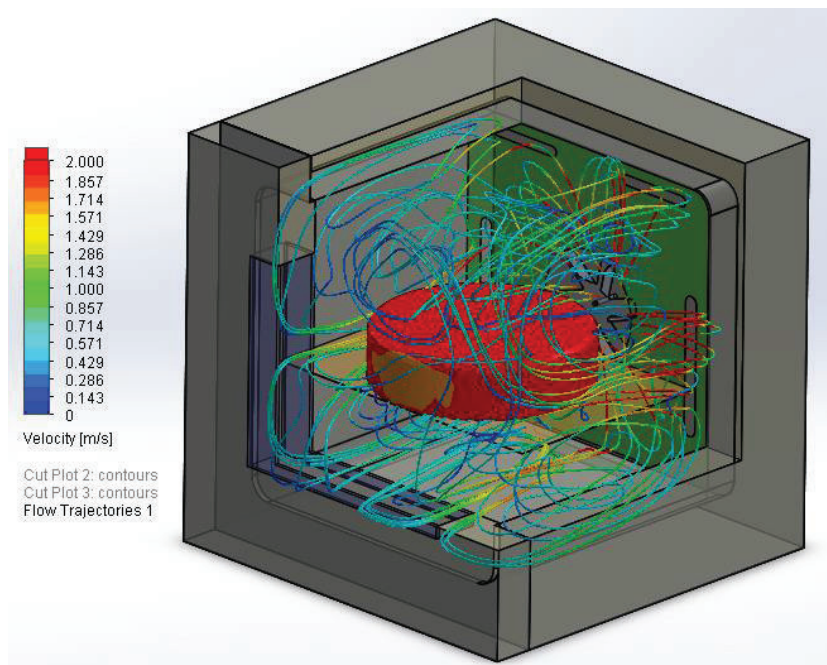


Figura G. 6. Combinación óptima entre rejilla y ventilador para alcanzar la velocidad esperada del aire.

Fuente: Propia

Anexo H. Costos de Inversión

Tabla H. 1. Localización

Localización: Parroquia Los Elenes - Riobamba	
Descripción	Valor [USD]
Terreno	30000
Contracciones civiles	129940

Fuente: Propia

Tabla H. 2. Vehículos

DETALLE	CANTIDAD	V. UNIT. [USD]	V. TOTAL [USD]
Camión Jmc 2008 De 3.5 T 28000 Km	2	30000	60000
Camioneta	1	27000	15000
TOTAL			75000

Fuente: Propia

Tabla H. 3. Muebles de oficina

DETALLE	CANTIDAD	V. UNIT. [USD]	V. TOTAL [USD]
Estaciones de trabajo ejecutivo con cajones	11	300	3300
Vitrina para archivo	4	230	920
Sillas de visita	30	38	1140
Sillón visita	6	110	660
Archivador	9	110	990
Silla con espaldar tapizado	11	98	1078
Total			8088
5% Transporte y Montaje			404,4
TOTAL			8492,4

Fuente: Propia

Tabla H. 4. Equipos de computación

DETALLE	CANTIDAD	V. UNIT. [USD]	V. TOTAL [USD]
Computadora ATX-650W	7	427,68	2993,76
DELL de escritorio	4	1900	7600
Impresora sistema continuo	5	205,35	1026,75
Subtotal			11620,51
IVA			1394,46
TOTAL			13014,97
5% Transporte y Montaje			650,75
TOTAL			13014,97

Fuente: Propia

Tabla H. 5. Gastos previos a la producción

DETALLE	V. TOTAL [USD]
Estudio de pre inversión	2500
Gastos de constitución de empresa	3000
Ingeniería de detalle (Contratación)	800
Puesta en marcha de la planta	3000
Imprevistos	2000
TOTAL	11300

Fuente: Propia

Anexo I. Costos de un proyecto de inversión.

COSTOS DE FABRICACION	AÑO 1		AÑO 2		AÑO 3		AÑO 4		AÑO 5		AÑO 6	
	VALOR	SUBTOTAL	VALOR	SUBTOTAL	VALOR	SUBTOTAL	VALOR	SUBTOTAL	VALOR	SUBTOTAL	VALOR	SUBTOTAL
a) COSTOS DIRECTOS												
Materias primas y material directo	563.613,12	669.468,36	783.114,51	905.129,98	941.942,66	980.670,57						
Mano de obra directa	78.207,61	94.389,94	111.235,21	129.199,15	134.800,85	140.399,78						
Total	641.820,73	763.858,30	894.349,72	1.034.329,13	1.076.743,51	1.121.070,34						
COSTO DE FABRICACION												
Combustibles y lubricantes	6.598,62	7.837,94	9.168,48	10.597,00	11.027,99	11.481,40						
Repuestos	8.400,00	9.977,65	11.671,41	13.489,91	14.038,56	14.615,76						
Útiles de oficina	840,00	997,76	1.167,14	1.348,99	1.403,86	1.461,58						
Útiles de aseo y seguridad	2.520,00	2.993,29	3.501,42	4.046,97	4.211,57	4.384,73						
Mano de obra indirecta	6.348,04	6.703,85	7.022,45	7.340,89	7.659,16	7.977,29						
Energía	420,00	498,88	583,57	674,50	701,93	730,79						
Agua (Uso Industrial, uso humano)	672,00	798,21	933,71	1.079,19	1.123,09	1.169,26						
Comunicaciones	1.008,00	1.197,32	1.400,57	1.618,79	1.684,63	1.753,89						
Total	26.806,66	31.004,91	35.448,76	40.196,24	41.850,78	43.574,69						
GASTOS DE ADMINISTRACION												
Sueldos y salarios (Ejecutivos, personal aux.)	157.704,73	166.544,18	174.459,05	182.370,00	190.277,03	198.180,15						
Útiles de oficina	420,00	498,88	583,57	674,50	701,93	730,79						
Relaciones públicas	4.200,00	4.988,82	5.835,71	6.744,96	7.019,28	7.307,88						
Agua, luz y comunicaciones	1.008,00	1.197,32	1.400,57	1.618,79	1.684,63	1.753,89						
Total	163.332,73	-	173.229,21	182.278,90	191.408,24	199.682,87	207.972,71					

COSTOS DE FABRICACION	AÑO 1		AÑO 2		AÑO 3		AÑO 4		AÑO 5		AÑO 6	
	VALOR	SUBTOTAL	VALOR	SUBTOTAL	VALOR	SUBTOTAL	VALOR	SUBTOTAL	VALOR	SUBTOTAL	VALOR	SUBTOTAL
GASTOS VENTAS												
Sueldos y salarios	70.911,75	74.886,40	78.445,32	82.002,46	85.557,85	89.111,48						
Comisiones a vendedores	45.964,80	57.471,26	67.227,34	77.701,90	80.862,12	92.003,85						
Útiles de aseo	2.520,00	2.993,29	3.501,42	4.046,97	4.211,57	4.384,73						
Útiles de oficina y papelería	840,00	997,76	1.167,14	1.348,99	1.403,86	1.461,58						
Agua, luz, teléfono	1.260,00	1.496,65	1.750,71	2.023,49	2.105,78	2.192,36						
Fletes	2.520,00	2.993,29	3.501,42	4.046,97	4.211,57	4.384,73						
Propaganda	15.000,00	15.590,08	16.210,30	16.862,39	17.548,20	18.269,70						
Gastos de viaje (Vendedores)	3.600,00	3.741,62	3.890,47	4.046,97	4.211,57	4.384,73						
Total		142.616,55	160.170,36	175.694,13	192.080,15	200.112,53	216.193,15					
e) GASTOS FINANCIEROS												
Comisiones bancarias	144,00	150,142	172,39	198,18	228,1	228,10						
Intereses a largo plazo	122.400,00	122.400,00	122.400,00	122.400,00	122.400,00	122.400,00						
Total		122.544,00	122.550,14	122.572,39	122.598,18	122.628,10	122.628,10					

Fuente: Propia

Anexo J. Pérdidas y ganancias

DETALLE	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
	[USD]	[USD]	[USD]	[USD]	[USD]	[USD]	[USD]
Inversiones	547841,27	91426,72					
Ingreso por valor residual							195427,20
A Ventas netas		1149120,00	1436781,55	1680683,57	1942547,44	2021553,08	2300096,30
B Costos de producción y fabricación		668627,39	794863,22	929798,47	1074525,37	1118594,29	1164645,03
C Utilidad bruta en ventas (A - B)		480492,61	641918,33	750885,09	868022,07	902958,79	1135451,27
D Gasto en ventas		142616,55	160170,36	175694,13	192080,15	200112,53	216193,15
E Utilidad neta en ventas (C - D)		337876,05	481747,97	575190,97	675941,92	702846,26	919258,11
F Gastos en administración		163332,73	173229,21	182278,90	191408,24	199682,87	207972,71
G Depreciación		47282,63	47282,63	47282,63	47282,63	47282,63	47282,63
H Utilidad neta en operación (E - F - G)		127260,69	261236,13	345629,44	437251,04	455880,76	664002,78
I Gastos financieros		122544,00	122550,14	122572,39	122598,18	122628,10	122628,10
J Utilidades antes de reparto (H - I)		4716,69	138685,99	223057,05	314652,86	333252,66	541374,68
K Reparto de utilidades (15%)		707,50	20802,90	33458,56	47197,93	49987,90	81206,20
L Utilidad antes de impuesto (K - J)		4009,19	117883,09	189598,49	267454,93	283264,76	460168,47
M Impuesto a utilidades (22%)		882,02	25934,28	41711,67	58840,09	62318,25	101237,06
N Utilidad neta (L - M)		3127,17	91948,81	147886,82	208614,85	220946,52	554358,61
O Utilidad efectiva (N + G)		50409,80	139231,44	195169,45	255897,48	268229,14	601641,24

Fuente: Propia

Anexo K. Manual de uso y mantenimiento horno eléctrico.

MANUAL DE USO Y DE MANTENIMIENTO HORNO ELÉCTRICO



Modelo: EPN – Mec 001

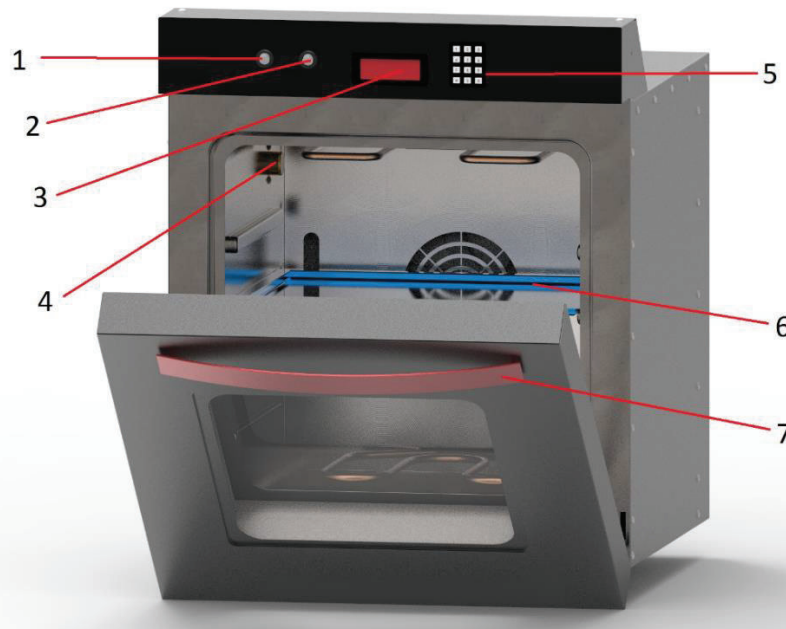
INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Antes de hacer uso de este electrodoméstico, por favor lea detenidamente los siguientes puntos:

1. Lea todas las instrucciones, luego guarde este manual en un lugar seguro para futura referencia.
2. No toque las superficies calientes, use las manijas y perillas. Cuando saque o coloque alimentos dentro del horno use guantes.
3. Evite que este artefacto sea manipulado por niños, personas con capacidades físicas, sensoriales o mentales reducidas.
4. No mueva el artefacto tirando del cable de alimentación de energía y asegúrese de que el mismo no se encuentre con algún defecto.
5. Deje al menos 10 cm de espacio alrededor del horno, para que haya una circulación adecuada de aire.
6. Desenchufe la unidad tirando desde el enchufe y nunca desde el cable de alimentación de energía.
7. Tenga mucho cuidado cuando retire bandejas o recipientes del interior del horno.
8. Este producto es únicamente de uso doméstico.
9. Nunca emplee esponjas metálicas en la limpieza del horno, podrían constituir un riesgo de descarga eléctrica.
10. Use recipientes aptos para horno de alta temperatura.
11. Antes de limpiar la unidad, desenchufe el cable de alimentación de energía.
12. Nunca emplee este producto a la intemperie.
13. Monte el horno en una superficie firme y nivelada.
14. Mantenga limpio el horno, considerando que el mismo está en contacto con alimentos.
15. Este horno posee una puerta de vidrio templado, evite rayar su superficie.
16. La puerta del horno no es apta para soportar el peso de elementos cuando se encuentra abierta.
17. Evite que la unidad esté cubierta o en contacto con elementos inflamables.

18. Nunca permita que algo quede en contacto con el elemento calefactor (resistencia eléctrica).
19. Se sugiere disponer de un elemento protector del calor entre el horno y la superficie donde va a ser dispuesto, para evitar quemaduras.
20. Durante el funcionamiento las superficies exteriores pueden tornarse muy calientes, evite el contacto.
21. Este electrodoméstico debe conectarse a la fase tierra, consulte a un técnico en caso de requerirlo. El fabricante no se responsabiliza por los daños causados por una incorrecta instalación del equipo.
22. Se recomienda conectar este electrodoméstico a un circuito independiente.

COMPONENTES



1. Botón de encendido del horno
2. Botón de encendido de la luz interior de la cámara
3. Pantalla LED
4. Luz interna de la cámara
5. Botones de control

6. Bandeja
7. Manija de la puerta

Los componentes enumerados, son los que el usuario debe manipular para el funcionamiento del horno.

COMO USAR EL HORNO

1. Presione el botón de encendido del horno.
2. En la pantalla led, aparecerá el mensaje “inserte temperatura”, digite dicha temperatura usando los botones de control, y luego presione la tecla OK.

Recuerde: La temperatura máxima de funcionamiento del horno es 250 °C.

3. En la pantalla led, aparecerá el mensaje “tiempo de cocción”, digite el tiempo de horneado usando los botones de control, y luego presiones la tecla OK.
4. Si dese cambiar el tiempo o la temperatura presione la tecla RESET.

Temperatura y tiempo recomendado para los alimentos:

Hornear		
Alimento	Tiempo [min]	Temperatura [°C]
Pollo	40 - 50	200
Filete	70 - 80	200
Galletas	10 - 15	160
Papas	30 - 35	225
Pizza	15 - 20	200

Grill		
Alimento	Tiempo [min]	Porciones
Pollo	35 - 45	1 - 6
Salchicha	15 - 20	1 - 8
Hamburguesa	25 - 35	1 - 6
Filete	25 - 35	1 - 2
Cerdo	30 - 40	1 - 6
Pescado	25 - 30	1 - 6

Los tiempos, temperatura y porciones presentados en las tablas únicamente son recomendaciones, el usuario definirá cada parámetro de acuerdo a su experiencia y necesidad.

LIMPIEZA Y CUIDADO

1. No trate de reparar el horno usted mismo.
2. Siempre apague, desenchufe y espere a que se enfríe por completo el horno antes de limpiarlo o moverlo.
3. Las superficies externas se deben limpiar con un paño húmedo, no use productos abrasivos o esponjas metálicas que dañen la superficie, así mismo evite rayar la cavidad interior del horno.
4. Limpie la bandeja después de cada uso.
5. Limpie el interior de la cavidad del horno con limpiadores no abrasivos, enjuague y seque cuidadosamente.
6. Enjuague y seque cuidadosamente todas las partes de la cavidad del horno antes de cerrar la puerta.
7. Nunca tire del cable de alimentación, podría dañarlo.

EPECIFICACIONES

Capacidad: 81 [litros]

Peso máximo de trabajo: 15 [Kg]

Potencia: 3460 [W]

Alimentación: 220 – 240 [V] ~ 60 [Hz]

Dimisiones: 587*700*633 [mm]

Peso del equipo:

Anexo L. Plano de conjunto y planos de taller.