



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DE UN HORNO DE TERMOCONTRACCIÓN
PARA LÁMINAS DE PLÁSTICO TERMOENCOGIBLE
PARA EL EMBALAJE DE ENVASES**

Autores:

José Brito

Samuel Lovera

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UN HORNO DE TERMOCONTRACCIÓN PARA LÁMINAS DE
PLÁSTICO TERMOENCOGIBLE PARA EL EMBALAJE DE ENVASES**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Autores:

José Brito

Samuel Lovera

Tutora:

Ing. Alicia Yánez de Pizzella

San Diego, junio de 2023



ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERIA para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

Diseño de un horno de termocontracción para láminas de plástico termoscogible para el embalaje de envases.

Realizado por el (la) Br. BRITO CARMENÓ, JOSÉ ENRIQUE
C.I. N° 30053553 cursante de la carrera de INGENIERIA MECANICA
hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

Mónica Nizdo

Tutor Académico (Coordinador)

Nombre: ALICIA YANEZ S.E.D.

C.I.: 4558 880

Lissette Hornebo

Jurado

Nombre: LISETTE HORNEBO

C.I.: V-7.139.471

Laura Saenz

Jurado

Nombre: LAURA SAENZ

C.I.: 4357366

Fecha: 04/07/23.

[Signature]





ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERIA para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: Diseño de un horno de termocontracción para láminas de plástico termoencogibles para el embalaje de envases.

Realizado por el (la) Br. LOVERA B. SAMUEL ERNESTO
C.I. N° 29 915 183 cursante de la carrera de ING. MECANICA

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

Alicia Yanéz
Tutor Académico (Coordinador)
Nombre:
C.I.: AUCIA YANEZ DE P.
4593 880

Lissette Hornes
Jurado
Nombre: LISSETTE HORNES
C.I.: 7139477

Laura Saenz
Jurado
Nombre: LAURA SAENZ.
C.I.: 4 357 366

Fecha 04, 07 23.

[Signature]





REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN
PÚBLICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, Ing. Alicia de Pizzella, portador de la cédula de identidad N° 4.598.880, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos José Brito y Samuel Lovera, portadores de la cédula de identidad N° 30.053.553 y 29.915.183 respectivamente, titulado **“DISEÑO DE UN HORNO DE TERMOCONTRACCIÓN PARA LÁMINAS DE PLÁSTICO TERMOENCOGIBLE PARA EL EMBALAJE DE ENVASES”**, presentado como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO MECÁNICO**, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 19 días del mes de Junio del año dos mil veintitrés.

Ing. Alicia de Pizzella
C.I: 4.598.880



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA

FI N 012 2022-3CR TG

Valencia, 14 de abril de 2023

Ciudadanos:
BRITO CERMEÑO, JOSÉ ENRIQUE
30.053.553
LOVERA BRACHO, SAMUEL ERNESTO
29.915.183
Presente -

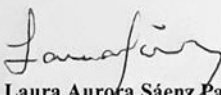
Cumplo con informarles que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 02-2023 de fecha 08/02/2023 aprobó el proyecto de grado titulado:

Diseño de un horno de termocontracción para láminas de plástico termoencogible para el embalaje de envases.

Presentado por ustedes como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Ing. Alicia Teresa Yáñez de Pizzella, titular de la cédula de identidad V-4.598.880

Atentamente


Dra. Laura Aurora Sáenz Palencia
Decana de la Facultad de Ingeniería



c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería

DEDICATORIA

Este trabajo de grado se lo dedicamos primeramente a nuestros familiares y seres queridos ya que gracias al apoyo incondicional que nos brindaron pudimos alcanzar esta meta con mucho esfuerzo, sacrificio y dedicación.

A nuestros profesores quienes fueron los pilares en nuestra formación como ingenieros, especialmente la profesora Alicia de Pizzella, por ser nuestra maestra tutora y mentora en la elaboración de esta tesis, que a pesar de las adversidades que se presentaron en el semestre nos guio con profesionalismo y no solo se ha distinguido como maestra, sino también como referencia de honestidad, ética y transparencia, como persona.

A nuestros compañeros de la Escuela de Ingeniería Mecánica por compartir sus conocimientos, sus risas y los buenos momentos que hacían que el tiempo en la universidad fuera más ameno.

José Brito y Samuel Lovera

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo agradecer a Dios por darme salud, por acompañarme a través de este recorrido académico y por brindarme la paciencia y perseverancia para superar todos los obstáculos que se me han presentado para poder llegar a este momento.

A mi madre Teresa Cermeño que siempre se comporta como un soporte para mí apoyándome diariamente mediante acciones y oraciones, animándome a conseguir mis objetivos y enseñándome a no persistir y siempre esforzarme. Además de soportarme y enseñarme las cosas buenas y malas que permitieron convertirme en la persona que soy.

A mi padre Otilio Brito por siempre ser mi ejemplo a seguir, por enseñarme los valores de responsabilidad, ética y profesionalismo, por todo el esfuerzo que has hecho para que yo pueda estudiar, por tus conocimientos que siempre me brindaste cuando necesite tú ayuda y por siempre apoyarme a pesar de los errores que pude haber cometido hasta llegar aquí.

A mi hermano José Daniel por siempre estar pendiente de mí, por cuidarme y enseñarme a lo largo de mi vida, por consentirme y ayudarme a crecer como persona, por buscar la forma de hacerme feliz y porque a pesar de la distancia siempre deseas lo mejor para mí.

A mi cuñada Lisnel Guzmán por siempre comportarse como una hermana mayor, por animarme en los momentos en los que compartimos y por brindarme tu apoyo y tus consejos en cada paso daba en mi formación académica.

Al Ing. Martin Lozada por transmitirme sus conocimientos sobre el tema y por prestarme su ayuda en la realización de este proyecto.

A mis tíos Carlos, Jorge, Juan, a mis tías Mercedes, Keyla, a mis primos Alejandro y Deivis, a mis primas, Luisana, Liliana y Daniela, a mis madrinas Beatriz y Yulmi, les estoy muy agradecido por pensar en mí y apoyarme en los momentos difíciles, gracias a ustedes me fue posible concluir mis estudios.

Y por último a mi amigo y compañero Samuel Lovera, por el esfuerzo que hiciste para que yo pueda concluir mis estudios, por siempre ayudarme y animarme a lo largo de la carrera, por tu humildad y honestidad para afrontar las cosas y por compartir tu tiempo, tus consejos y tus vivencias que me ayudaron a mejorar como persona.

José Brito

AGRADECIMIENTOS

En este recorrido lleno de desafíos y aprendizajes, agradezco a todas las personas que han sido parte de mi camino, brindándome su apoyo y aliento en cada paso.

A mi querida hermana, mi mano derecha y compañera de vida. En cada paso de este arduo camino, tus palabras de aliento y tu apoyo han sido mi fuerza. Gracias a tu amor incondicional.

A mi querida abuela, fuente inagotable de sabiduría y guía. Tus palabras cargadas de experiencia han moldeado mi forma de ver el mundo, y tus consejos siempre acertados han sido la brújula que me ha dirigido.

A mi padre, quien ha sido mi maestro y ejemplo a seguir. Tu paciencia, tu sabiduría y tus enseñanzas han forjado mi carácter y mi determinación. Desde los primeros pasos que di, hasta este logro que hoy celebro, tus consejos y tu amor han sido fundamentales. Gracias por guiarme desde la distancia.

A mi amigo Brito, En este viaje académico lleno de desafíos y aprendizajes, tuvimos el privilegio de caminar juntos, quiero expresar mi más profundo agradecimiento por tu apoyo incondicional y tu valiosa ayuda. Tus consejos han sido invaluable en este camino académico. Celebramos juntos el éxito de nuestro proyecto y agradezco profundamente tu compromiso y amistad.

A mis amigos, quienes me han brindado su compañía y su apoyo moral durante todos estos años. Sus palabras de ánimo y sus sonrisas han sido mi motor en los momentos de agotamiento y desánimo.

A mis profesores y mentores, por su sabiduría y guía, por compartir su conocimiento y por desafiarme a crecer. Gracias por creer en mí y por brindarme las herramientas necesarias para alcanzar mis metas académicas.

Y finalmente, a ti, mamá, por haber sido mi roca, mi inspiración y mi motivo para seguir adelante. Tu ausencia es una herida que nunca sanará, pero sé que tu amor y tu espíritu me acompañarán siempre. Este logro es para ti, madre querida, y mi gratitud hacia ti es eterna.

Samuel Lovera

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABLAS	xiv
RESUMEN INFORMATIVO	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	8
1.3 Objetivos de la Investigación.....	8
1.3.1 Objetivo General.....	8
1.3.2 Objetivos Específicos.....	8
1.4 Justificación.....	8
1.5 Alcance y Limitaciones.....	10
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	11
2.2 Bases Teóricas.....	14
2.2.1 Teoría de Termocontracción.....	14
2.2.2 Teoría de Transferencia de Calor.....	15
2.2.3 Mecanismos de Transferencia de Calor.....	15
2.2.4 Aislamiento Térmico.....	18
2.2.5 Descripción del Funcionamiento del Túnel.....	19
2.2.6 Descripción de los Componentes del Túnel.....	19
2.2.6.1 Resistencias Eléctricas.....	19
2.2.6.2 Ventiladores.....	21
2.2.7 Termoplásticos.....	22

2.2.7.1 Películas Termoencogibles.....	23
2.3 Bases Legales.....	25
2.3.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela.....	25
2.3.2 Ley Orgánica del Ambiente.....	26
2.3.3 Normas COVENIN.....	27
2.3.4 Normas ASME.....	28
2.4 Definición de Términos.....	28
III MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Enfoque de la investigación.....	30
3.2 Tipo de Investigación.....	31
3.3 Diseño de la Investigación.....	31
3.4 Nivel de la investigación.....	32
3.5 Población y Muestra.....	32
3.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	33
3.6.1 Técnicas de Recolección de Datos.....	33
3.6.2. Instrumentos de Recolección de Datos.....	34
3.7 Técnicas de Análisis de Resultados.....	36
3.8 Fases Metodológicas.....	37
3.9 Cuadro de Operacionalización de Variables.....	39
IV RESULTADOS	
4.1 Diagnosticar la Situación Actual de Embalajes en la Empresa.....	40
4.1.1 Observación Directa.....	40
4.1.2 Entrevista Estructurada.....	41
4.2 Analizar el Tipo de Productos a los Cuales se Van a Realizar el Embalaje.....	44
4.2.1 Propiedades del Material de los Productos.....	45
4.2.2 Dimensiones de los Productos Embalados.....	46
4.2.3 Selección del Material a Embalar.....	47
4.2.3.1 Aplicación de las Restricciones a las Probables Soluciones....	48
4.2.3.2 Ponderación de Criterios.....	49

4.2.3.3 Ponderación de Soluciones Respecto a Cada Criterio.....	50
4.2.3.4 Ponderación Final.....	51
4.3 Análisis Térmicos y Estructurales del Horno, Calcular y Seleccionar sus Partes Mecánicas y Diseñar el Sistema Modelando sus Partes Críticas, Utilizando Software de Ingeniería	52
4.3.1 Consideraciones de Diseño y Especificaciones.....	52
4.3.1.1 Producción Requerida en N° de Paquetes por Minuto.....	52
4.3.1.2 Velocidad de Transportación.....	53
4.3.1.3 Dimensiones del Horno de Termocontracción.....	53
4.3.2 Análisis Térmico del Horno.....	55
4.3.2.1 Calor Entregado al Paquete.....	56
4.3.2.2 Determinación de la Temperatura de Salida.....	58
4.3.2.3 Determinación de Pérdidas por las Paredes.....	63
4.3.2.4 Determinación de Pérdidas por Abertura de Cortinas.....	70
4.3.2.5 Determinación de Pérdidas en la Banda Transportadora.....	72
4.3.2.6 Determinación del Calor Necesario por el Sistema.....	74
4.3.3 Selección y Cálculo de las Resistencias Eléctricas.....	76
4.3.4 Selección y Cálculo del Conjunto Turbina de Aire y Motor.....	81
4.3.5 Diseño del Sistema Transportador.....	84
4.3.5.1 Fuerza de Tracción en la Malla.....	84
4.3.5.2 Longitud de la Cadena.....	88
4.3.5.3 Selección del Motorreductor.....	89
4.3.5.4 Cálculo del Eje del Piñón Motriz.....	89
4.3.5.5 Selección y Cálculo de las Chumaceras.....	92
4.3.6 Selección del Ventilador de Enfriamiento y las Cortinas.....	94
4.3.7 Diseño de la Estructura Inferior del Horno.....	95
4.3.8 Diseño de los Componentes del Horno Utilizando Software de Ingeniería.....	98
4.4 Evaluar la Viabilidad Económica, Ambiental y Social del Proyecto.....	105
4.4.1 Viabilidad Económica del Proyecto.....	105
4.4.2 Viabilidad Ambiental del Proyecto.....	108

4.4.3 Viabilidad Social del Proyecto..... 110

CONCLUSIONES..... 112

RECOMENDACIONES..... 113

REFERENCIAS..... 114

APÉNDICES..... 117

ANEXOS..... 127

PLANOS..... 151

LISTA DE CUADROS

	DESCRIPCIÓN	
CUADRO		pp.
1	Preguntas y respuestas de la entrevista.....	42
2	Matriz FODA.....	43
3	Características de las películas termoencogibles.....	47
4	Probables soluciones con respecto a las restricciones (película).....	48
5	Características de las resistencias indirectas.....	76
6	Probables soluciones con respecto a las restricciones (resistencias).....	77
7	Probables soluciones con respecto a las restricciones (ventiladores).....	82
8	Comparación entre hornos termoencogibles.....	108
9	Indicadores de viabilidad ambiental del proyecto.....	109
10	Indicadores de viabilidad social del proyecto.....	110

LISTA DE FIGURAS

	DESCRIPCIÓN	
FIGURA		pp.
1	Capa Límite de Velocidad.....	17
2	Disposición de resistencias de alambre en horno.....	20
3	Paquetes de resistencias en espiral.....	20
4	Resistencias en tubos radiantes.....	21
5	Resistencias blindadas.....	21
6	Ventilador axial.....	22
7	Ventilador centrífugo.....	22
8	Lugar donde se ubicará el horno.....	40
9	Condición actual de los embalajes.....	41

10	Embalaje de bebidas deseado.....	41
11	Diagrama causa-efecto (Ishikawa).....	44
12	Dimensiones máximas de embalaje.....	47
13	Esquema con vista frontal de la cámara interna del horno.....	55
14	Vista frontal de la cámara.....	64
15	Pared compuesta de 3 capas.....	64
16	Circuito térmico equivalente para las paredes del horno.....	65
17	(a) Corte transversal del horno y (b) Corte longitudinal del horno.....	69
18	Desplazamiento de las cortinas del horno.....	70
19	Composición interna de las resistencias blindadas.....	79
20	Extracto del catálogo de resistencias aletadas.....	80
21	Esquema de la caja porta resistencia del horno.....	81
22	Diámetro hidráulico en un ducto rectangular.....	83
23	Esquema del sistema transportador del horno.....	88
24	Esquema de las fuerzas aplicadas sobre el eje.....	90
25	Diagramas cortantes y de momento flector.....	91
26	Esquema de los soportes sobre los cuales irá apoyado el horno.....	95
27	Fuerzas aplicadas sobre los soportes.....	96
28	Posición del perfil de canal.....	98
29	Estructura de la caja porta resistencia.....	98
30	Refuerzo de la tapa superior de la caja.....	99
31	Caja porta resistencias vacía.....	99
32	Corte de la caja porta resistencias vacía.....	99
33	Forma del ventilador centrífugo.....	100
34	Motor y acople.....	100
35	Sistema de calentamiento.....	100
36	Corte superior del sistema de calentamiento.....	101
37	Tapa superior del horno.....	101
38	Corte de la tapa superior del horno.....	101
39	Estructura del ventilador de enfriamiento.....	102
40	Estructura inferior del horno.....	102

41	Corte longitudinal de la estructura superior del horno.....	102
42	Vista inferior de la estructura superior del horno.....	103
43	Vista lateral de la estructura superior del horno.....	103
44	Eje motriz.....	103
45	Sistema transportador.....	104
46	Corte transversal del horno.....	104
47	Corte longitudinal del horno.....	104
48	Ensamble final del horno.....	105
49	Horno comercial 1.....	107
50	Horno comercial 2.....	107
51	Horno comercial 3.....	108

LISTA DE TABLAS

DESCRIPCIÓN

FIGURA		pp.
1	Propiedades físicas y térmicas del PET.....	45
2	Dimensiones del embalaje de acuerdo al envase.....	46
3	Comprobación lógica de los criterios (película).....	49
4	Soluciones con respecto al criterio 1 (película).....	50
5	Soluciones con respecto al criterio 2 (película).....	50
6	Soluciones con respecto al criterio 3 (película).....	50
7	Soluciones con respecto al criterio 4 (película).....	51
8	Soluciones con respecto al criterio 5 (película).....	51
9	Soluciones con respecto al criterio 6 (película).....	51
10	Valor final de cada solución (película).....	52
11	Energía requerida por el paquete.....	75
12	Pérdidas de calor.....	75
13	Resultados obtenidos del análisis térmico del horno.....	75

14	Comprobación lógica de los criterios (resistencias).....	77
15	Soluciones con respecto al criterio 1 (resistencias).....	78
16	Soluciones con respecto al criterio 2 (resistencias).....	78
17	Soluciones con respecto al criterio 3 (resistencias).....	78
18	Soluciones con respecto al criterio 4 (resistencias).....	79
19	Valor final de cada solución (resistencias).....	79
20	Masa de los componentes del paquete.	85
21	Factor de corrección f_1	86
22	Factor de corrección f_2	87
23	Tensión permisible en la cadena.....	87
24	Vida útil de diseño.....	93
25	Costos del horno.....	105



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DISEÑO DE UN HORNO DE TERMOCONTRACCIÓN PARA LÁMINAS DE PLÁSTICO TERMOENCOGIBLE PARA EL EMBALAJE DE ENVASES

Autores:

José Brito

Samuel Lovera

Tutora:

Ing. Alicia Yáñez de Pizzella

Fecha: Junio 2023

RESUMEN INFORMATIVO

En este trabajo de investigación se planteó un proyecto factible, donde el diseño de investigación fue de campo y documental, siguiendo la línea de investigación de gestión ambiental, hábitat y vivienda, en la cual se diseñó un horno de termocontracción para calentar una película de plástico termoencogible para que esta se contraiga sobre un grupo de envases juntándolos y protegiéndolos. Mediante el uso de las técnicas metodológicas de “observación directa, entrevista estructurada y revisión documental” se obtuvieron todos los datos que fundamentan el trabajo, estos datos ayudaron a determinar los beneficios que se obtienen al embalar productos utilizando este método, además permitieron conseguir los parámetros con los que cumple el diseño del horno, como son sus características físicas y las dimensiones del mismo. Seguidamente se calcularon y seleccionaron todos los componentes que intervienen en el funcionamiento del horno, sus resistencias, ventiladores, su material estructural y aislante, entre otros. De esta forma mediante el uso de los software de ingeniería Solidworks, AutoCAD e Inventor se realizó la modelación de los componentes del horno de manera virtual para así tener una visión clara de la posición que ocupa cada elemento, también se mostró cómo se ensamblan sus piezas además de los planos que la constituyen. Una vez terminado los cálculos correspondientes a la estructura y funcionamiento del horno se procedió con los análisis de viabilidad del horno, más precisamente el económico, ambiental y social. Estos análisis permitieron concluir que sí es factible realizar la construcción de este diseño.

Descriptores: Diseño, Embalaje, CAD, Calor.

INTRODUCCIÓN

En el año 8000 a.C el uso de vasijas de arcilla como recipiente inicia la historia del embalaje. Desde entonces su uso ha ido en aumento, evolucionando y diversificándose enormemente en los últimos años, al amparo de las nuevas tecnologías y tratando de satisfacer las necesidades sociales modernas. Se utilizan envases en el sector de la alimentación, de la construcción, cosméticos, electrodomésticos, y en general todo tipo de productos, rehusando incluso el consumidor aquellos productos que no disponen de un embalaje adecuado.

La innovación y renovación financieramente sustentadas son probablemente dos de los conceptos más importantes a tener en cuenta en cualquier proyecto empresarial, especialmente en una era en que la vigencia de la tecnología se reduce apreciablemente y la competencia empresarial asume dinámicas más agresivas; tal panorama obliga al diseño de equipos a ser más eficiente y contribuir efectivamente a la reducción de los costos y al mejoramiento de la calidad en todas sus manifestaciones.

En la actualidad distintas empresas a nivel nacional e internacional se encuentran realizando la implementación y adquisición de nuevas tecnologías para aplicarlas dentro de sus líneas de producción o dentro de sus sistemas de producción en general, con la finalidad de mejorar y optimizar sus sistemas, para de esta manera reducir tiempos de producción. Debido al rápido desarrollo de la industria a nivel mundial se ha generado la necesidad de producir mayor cantidad de materiales para suplir dicha demanda en la industria. La mejor forma de agrupar grandes cantidades de productos es mediante el embalaje de estos.

En la presente investigación se realiza una propuesta para mejorar el proceso de embalaje en una empresa, se tiene como objetivo, proponer el diseño de un horno de termocontracción para películas de plástico termoencogible, para lograr este objetivo la investigación va a ser desarrollada en cuatro capítulos, los cuales se describen a continuación:

- **Capítulo I: El Problema**, el capítulo se comienza planteando la problemática de la investigación y su respectiva formulación, seguidamente se establecen los objetivos generales y específicos que mostrarán las metas que se esperan alcanzar con el trabajo, posteriormente se justifica el estudio, y se describen los alcances y las limitaciones del proyecto.
- **Capítulo II: Marco Teórico**, en él se describen los antecedentes del estudio, se adaptan las teorías relacionadas con la investigación y se citan las bases teóricas en las que se

fundamenta el trabajo, además de especificar las condiciones legales por las que se tiene que guiar el diseño y unas definiciones de términos básicos que aparecen de manera recurrente a lo largo de la investigación.

- **Capítulo III: Marco Metodológico**, está conformado por todos los métodos que van a ser utilizados para sustentar el informe, en él se determinará el tipo, diseño, y nivel de la investigación que le corresponde al proyecto, Además se selecciona la población a utilizar, las estrategias para obtener datos y los instrumentos necesarios para el análisis de los datos resultantes.
- **Capítulo IV: Resultados**, en este capítulo se desarrollan los objetivos específicos con el propósito de dar resultado al objetivo general de la investigación. Además, se presentan de manera fundamentada las conclusiones alcanzadas tras el análisis minucioso de los datos recolectados. Así mismo, se proporcionan recomendaciones basadas en los hallazgos y las implicaciones derivadas del estudio, a fin de orientar futuras investigaciones y potenciar la aplicabilidad de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

Desde el inicio de la humanidad el hombre ha buscado subsistencia en todos los medios, empleando formas de traslado, compra y venta de productos y servicios con el conocido trueque, esto otorgó responsabilidad en su gestión de subsistencia, asumiendo el traslado de productos de un lugar a otro sufriendo el menor daño posible utilizando pieles, cestos, jarras, entre otros (Losada, 1997).

El embalaje de productos es una práctica de almacenamiento que ha sufrido grandes cambios a lo largo de su historia no solo por el avance tecnológico a través de los siglos, sino por la necesidad del ser humano en la facilidad de manipulación y el aumento de producción en la Industria mundial. En el año 8000 a.C, el ser humano ya precisaba de recipientes o envolturas para guardar alimentos o bebidas. Estos, además, debían conservar lo que almacenaban en su interior en las mejores condiciones e incluso, debía servir para transportar estos bienes cuando el hombre de la prehistoria salía a cazar. Estos primeros embalajes eran vasijas de arcilla y barro o cestos elaborados con fibras vegetales. Con esto se da inicio a la historia del embalaje.

En la época griega y posteriormente con los romanos el embalaje evolucionó para adaptarse a las nuevas necesidades de la época. Tanto los griegos como los romanos fueron pueblos viajeros y colonizadores, por lo que sus embalajes debían estar preparados para afrontar largas travesías. Pero, además, pronto se convirtieron en comerciantes, lo que incrementó el volumen de mercancías a transportar. En estos tiempos el embalaje por excelencia eran las ánforas de terracota que transportaban por todo el mediterráneo aceite, trigo, vino, así oro y metales preciosos y otros bienes.

Durante la Edad Media y la edad moderna se dio lugar a nuevos modos de embalaje. Estos debían soportar mercancías más pesadas y los golpes y embestidas de un viaje largo por alta mar, así como la rudeza y la falta de tecnología para su carga y descarga. Para estos tiempos las cajas de madera cumplían a la perfección estas características y se acondicionaba su interior en función de los productos que iban a albergar: telas para evitar movimientos o serrín para proteger mercancías delicadas, por ejemplo.

Aunque se apunta que la primera caja de cartón se inventó en China en el siglo XVI, no fue hasta finales del siglo XIX cuando se popularizó su uso con la finalidad que hoy en día se

utiliza. La Revolución Industrial y la necesidad de embalar mercancía con materiales más económicos y ligeros de la madera consiguieron que el cartón fuese ganando terreno en el campo del embalaje. Luego con el descubrimiento del plástico en el siglo XX se fue convirtiendo con el tiempo en la primera opción para almacenar un producto desplazando al cartón, esto ocurrió debido a que el manejo del plástico es más versátil y a su vez tiene un menor costo que el cartón tomando en cuenta que este debe tener una buena calidad para embalar correctamente un producto.

Como se observa la historia del embalaje evoluciona con la historia del hombre. Al pasar de los siglos se ha desarrollado para crear nuevas formas con nuevos materiales. Partiendo de la madera, pasando por el vidrio, la cerámica, el metal hasta llegar a principios de siglo a la hojalata y a los plásticos después de la Segunda Guerra Mundial. Del mismo al pasar el tiempo se comprueba que siempre fue un problema el transportar productos de un sitio a otro, los embalajes debían almacenarlos y conservarlos en un buen estado mientras estos debían pasar por largas travesías hasta llegar a su destino, además el embale debía soportar los golpes y embestidas producidos en el viaje así como los tratos recibidos en la carga y descarga.

Comparando las funcionalidades de los embalajes en el pasado con el presente se encuentra que cumplen el mismo principio de almacenar y conservar, pero la modernización trajo consigo un gran aumento en la importancia de como se ve o se vende el producto, es decir, en los últimos tiempos se volvió fundamental que además de cumplir los requerimientos técnicos, el embalaje debía tener una buena presentación de cara al consumidor. El embalaje es una cuestión de reacción, aquí entra en juego la psicología del envase/embalaje, el consumidor está acostumbrado a ver los productos bien ordenados y de forma clara, así como también se da cuenta del cuidado y la atención suplementarios que ha puesto el fabricante para facilitar el transporte del producto, para garantizar que puede volverse a cerrar bien y para evitar que se vuelque.

Si el diseño y la ejecución del embalaje parecen mejor, también lo parece la calidad del producto contenido. De ahí que el término adecuación a la finalidad sea un extremo que desempeñe un papel destacado en esta materia. Hay productos que se ven adecuados con tal rigor, que para el consumidor no hay mejor presentación posible, a su vez también los hay que necesiten de forma urgente que alguien eche un vistazo al tipo de contenedor. Los sentidos también entran en juego cuando se mira y maneja el embalaje; sin embargo, muy a menudo se ignora el sentido del tacto. Cuando el consumidor toca un producto, la textura no solo evoca calidad, sino que realza también

cualidades del contenido. Es diferente agarrar un producto que esté embalado con una cubierta húmeda o con porosidades a otro que se encuentre seco y con su superficie lisa.

Por otra parte la textura influye también en el modo de reflejarse la luz en la superficie, y por consiguiente supone un impacto visual. Al consumidor le llama más la atención que la luz que le llegue al embalaje presente brillo o claridad para así resaltar el contenido y dar una mayor sensación de calidad. Si la textura, en fin, hace que el producto sea más práctico o cómodo de manipular va a llamar la atención del consumidor en comparación con otros productos.

En definitiva la apariencia estética de un embalaje puede ser la diferencia que incline al consumidor a escoger ese producto en vez de otro. Existen diversos tipos de embalajes que cumplen características determinadas de acuerdo al tipo de producto a almacenar, como se mencionó, estos pueden ser hechos de varios materiales pero hoy en día la elección preferida de las empresas es el embalaje con plástico. De igual modo otro rasgo a tomar en cuenta cuando se quiere vender un producto bien embalado es la forma de almacenamiento de este, el cómo agrupar y guardar los productos es un aspecto muy importante para el consumidor, un embalaje liviano que no produzca choques entre los productos es más atractivo a uno muy pesado o que pueda afectar los productos chocando entre sí.

Con respecto al embalaje en una empresa, la correcta utilización de este permite muchos beneficios internos en cuestión de almacenar y proteger una gran cantidad de productos sin la necesidad de añadirle un peso mayor y siendo de fácil movilidad. En el caso que una empresa no se encargue de embalar sus productos le sería contraproducente debido a la imposibilidad de encargarse de un gran número de pedidos y a su vez tener un almacenamiento tedioso y de poca capacidad. Si la empresa opta por embalar sus productos de manera incorrecta o con un embalaje de mala calidad, se puede ocupar un espacio de almacenamiento mayor al debido, además esto puede producir pérdidas de productos debido a que el embalaje no cumple con las características necesarias para proteger al mismo.

Como se ha visto en la evolución del embalaje, los hechos de cartón y plásticos son los más utilizados actualmente, estos comparten varias características pero el plástico destaca por encima del cartón debido a:

- Son, en general, más ligeros, lo que simplifica su manipulación, contribuye a minorar el peso volumétrico y se traduce en un ahorro de costes en los envíos.

- Su aplicación es más rápida y el residuo de plástico es mucho menor comparado con los otros tipos de empaque.
- El plástico al contrario de las cajas de cartón, es impermeable y no retiene el polvo por su carga antiestática.
- La mercancía que está embalada con un termoencogible, se encuentra por completo libre de bacterias, asegurando la limpieza de los productos al momento de ser maniobrados y transportados.

El plástico que es utilizado para realizar los embalajes es denominado termoencogible o termoretráctil, la empresa de fabricación de películas termoencogibles PlastiK21 se refiere a las propiedades de estos plásticos para embalar como:

Posee buena sellabilidad a altas velocidades y garantiza resistencia durante su manejo, transporte y almacenamiento. Se aplica para la envoltura de alimentos como carnes, quesos, embutidos entre otros, como el empaque y embalaje en la Industria de envases tales como jugos, agua mineral y/o refrescos.

Los termoencogibles pueden ser utilizados con muy diversos fines en el ámbito del embalaje, pero cobra especial protagonismo en:

- La paletización, al estar diseñado para compactar la mercancía y fijarla, evitando que se mueva, se caiga o se pierda durante la manipulación.
- El almacenamiento de productos a la intemperie, por la protección que ofrece frente a las inclemencias del tiempo y frente a otros agentes externos.
- La exportación, por su gran resistencia y por su fiabilidad, cualidades que garantizan que los productos llegarán sanos y salvos a su destino.

Empacar con películas termoencogibles no es una práctica novedosa. Desde principios de los años 70, mercados como el estadounidense ya comenzaban a utilizar esta técnica la cual con el tiempo y desarrollos continuos, se ha convertido en una de las más demandadas por las características que brinda como una mayor protección y estética al producto al momento de ser vendidos, su gran versatilidad, presentación para una amplia variedad de productos de consumo y aplicaciones funcionales como paquetes y bandejas, que facilitan la agrupación de productos para transporte, distribución y estantería.

Venezuela no se queda atrás en este aspecto, en la actualidad es muy común ver en las pequeñas y grandes industrias se utiliza el proceso de embalaje de diferentes productos mediante

películas termoencogibles. Este proceso consiste en envolver el producto en una de estas películas y luego hacerlo pasar por un túnel denominado túnel de termocontracción el cual mediante calor contrae esta película que termina cubriendo el producto.

El característico entorno competitivo en el que las empresas desarrollan sus actividades hace que estas deban plantear actuaciones para mejorar sus estándares de calidad, servicio y coste. Sin embargo, ante esta necesidad las empresas no siempre han prestado la suficiente atención a la contribución que un adecuado embalaje proporciona a la mejora de competitividad desde la perspectiva del incremento de las ventas y reducción de los costes facilitando y haciendo eficientes los procesos de aprovisionamiento, manipulación, almacenamiento y transporte con la reducción del tiempo de proceso. Ante la manifestación del problema se ve la necesidad de establecer un sistema de envoltura eficaz que optimice el tiempo de embalaje.

Una de las industrias en las que se quiere implementar este proceso es en una empresa de bebidas en San Diego, estado Carabobo. Actualmente la empresa cuenta como único embalaje simplemente el colocar los envases en una base de cartón cubierto con fundas transparentes, esta colocación hace que el producto se desacomode provocando fricción entre ellos deteriorando la presentación del producto o también que la funda se rompa o se deslice al momento de ser manipulada produciendo que el producto pierda estética, ocurran derramamientos o que sea incómodo de transportar. Estos inconvenientes hacen que el proceso sea lento y poco eficiente, además al momento de distribuirlo a los consumidores produce reclamos que afectan la imagen de la empresa y una posterior pérdida de actuales y futuros clientes si se continúa embalando de esta forma.

Debido al crecimiento de la empresa en el mercado y la necesidad de realizar nuevas presentaciones para ofrecer a sus clientes, requieren que el embalaje del producto se realice con mayor velocidad, menor costo y con una menor cantidad de fallas producidas por un mal embalaje. Para ello se requiere de un equipo de termocontracción que facilite el proceso de embalaje, aunque por la situación país, se encuentran con diversos problemas económicos para adquirir el mencionado equipo debido al costo inicial que poseen además de los costos que conlleva la importación del equipo que es construido en otro país. Además en equipos importados especialmente en lo que respecta a producción son de demasiada capacidad para la demanda que tiene la empresa.

En el afán de buscar otras alternativas para solventar el problema, la empresa decidió que la mejor opción es la de diseñar el horno para que cumpla con los requerimientos necesarios para el proceso y luego la construcción del horno de termocontracción con ingeniería local. Con esta decisión se puede tener un horno a un menor costo que aquellos contruidos en el exterior y con esto fomentar el desarrollo industrial en Venezuela. Con este diseño se espera optimizar la operación de este tipo de equipos tanto en consumo de energía y calidad de embalaje permitiendo de esta forma ser contruidos a nivel local a un costo menor y poder así competir con equipos traídos del exterior, con lo cual se generará una fuente de trabajo.

1.2 Formulación del Problema

¿Cómo se puede mejorar el proceso de embalaje de envases en una empresa de distribución de bebidas en San Diego, estado Carabobo?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un horno de termocontracción para mejorar el proceso de embalaje de envases en una empresa de distribución de bebidas en San Diego, estado Carabobo.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diagnosticar la situación actual de embalajes en la empresa.
2. Analizar el tipo de productos a los cuales se van a realizar el embalaje.
3. Realizar los análisis térmicos y estructurales del horno, calcular y seleccionar sus partes mecánicas y diseñar el sistema modelando sus partes críticas, utilizando software de ingeniería.
4. Evaluar la viabilidad económica, ambiental y social del proyecto.

1.4 Justificación de la Investigación

Haciendo énfasis en el empaque de los productos, es importante mantener una innovación del mismo debido a la competencia que existe al alrededor, lo que significa que la presentación e imagen del producto son factores decisorios en el momento de la compra. El embalaje adecuado puede convertirse en una poderosa herramienta de comunicación para transmitir los valores de la empresa y la filosofía del producto.

Por otra parte con la utilización de plásticos como material de embalaje ideal, hay que tomar en cuenta que la sociedad cada día está más concientizada con el cuidado del medioambiente, y que se preocupa por el reciclaje y la sostenibilidad. Por suerte, es posible reciclar

el plástico termoencogible. Es un proceso muy sencillo que resulta en plástico utilizable para otros productos reciclables e incluso utilizado para producir la película termoencogible con hasta un 50 % de PE reciclado combinado con polímeros de PE virgen de alto desempeño que mantienen la calidad e integridad del empaque. Esta solución monomaterial y ligera utiliza menos material brindando un embalaje lo suficientemente bueno para cumplir las exigencias.

Con el constante progreso de la empresa, para mantener los niveles más altos de competitividad y calidad es oportuno pretender mejorar la presentación del producto por medio del embalaje, el material termoencogible protege al producto en cuanto a la humedad y filtraciones, además produce un aumento en su competitividad porque presenta una mejor visión respecto al papel tan importante que desempeña este en la última fase de la producción de un producto.

Debido a estas razones la empresa se favorece de su implementación logrando mejores resultados gracias a que se evita el daño del producto, por lo que se disminuye el nivel de reclamos por consecuente, una mayor satisfacción por parte de los clientes hacia los productos entregados. De igual manera, la empresa permanece estable frente a la competencia debido a la innovación del empaque, como también podría llegar a lograr cambiar ese impacto negativo que actualmente ocasiona, a uno positivo.

En cuanto al aspecto interno de la empresa, el generar mejoras de diseño y función en los elementos que intervienen en las actividades del embalaje de un producto, se podrá dar mucha más flexibilidad y seguridad al producto terminado, y a su vez permite que actividades específicas como el almacenamiento de este sea más sencillo produciendo menores pérdidas de tiempo y por consiguiente aumentar la eficiencia del proceso. Para ello con la siguiente investigación se aportará una solución que permita aprovechar los beneficios que trae tener bien embalados los productos.

Por esto, es importante la realización de este proyecto para diseñar un horno de termocontracción con las características necesarias para asegurar que este trabaje correctamente con las condiciones del proceso y así poder satisfacer la necesidad de la empresa en relación a producir un buen embalaje de sus productos y aumentar la calidad general de la empresa tanto de manera interna con un mejor manejo de los productos, como de cara al exterior atrayendo futuros clientes y reafirmando las relaciones con los clientes más comunes de la empresa.

Asimismo, el diseño del horno es considerado un proyecto factible donde se indagaran, estudiaran y analizaran las condiciones de trabajo para con la información obtenida y los análisis pertinentes se puedan diseñar y seleccionar las piezas adecuadas para un correcto funcionamiento.

Otro aspecto que resalta la importancia de la investigación es que debido a las ventajas que tiene el uso del horno y las distintas industrias en donde podría ser utilizado se puede promover a las industrias venezolanas a construir el horno en el propio país en vez de buscar comprarlos por fuera.

1.5 Alcance y Limitaciones

El diseño propuesto abarca el trabajo de todos los aspectos relacionados con el funcionamiento del horno de termocontracción empleado para el embalaje de envases, se estudiará principalmente lo relacionado con las variables eléctricas, el aislamiento térmico, diseño de la estructura metálica, distribución interna de los productos que se van a embalar, intercambio apropiado de energía térmica y el sistema de extracción de humedad.

Esta propuesta se limitará exclusivamente al diseño del horno y la evaluación de las características de los materiales empleados para el mencionado diseño, por lo que únicamente se proporcionarán los resultados de todas las variables del diseño propuesto para realizar la construcción del horno. El diseño y la modelación de las partes que conforman el horno va a ser realizado mediante los software de ingeniería AutoCAD, Inventor y Solidworks.

El tiempo de investigación del presente trabajo de grado será de dos semestres académicos lo cual es equivalente a treinta y dos (32) semanas. Por último, este informe de investigación va a servir como trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad José Antonio Páez.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Tamayo y Tamayo (2011) destaca el siguiente concepto: “Toda investigación permite aclarar, juzgar e interpretar la situación planteada teniendo presente que debe estar sustentada en una base sólida” (p. 244).

Estas investigaciones citadas a continuación funcionan como fuentes bibliográficas y como una síntesis conceptual logrando ser la base para la realización del presente trabajo de grado, sabiendo que dichas investigaciones son realizadas con objetivos afines a los planteados en el presente proyecto. Los antecedentes respaldan esta investigación, están fundamentados en trabajos de grado aportando información relevante para el mismo.

2.1 Antecedentes

En primer lugar, Guaqueta, J. (2018). En su trabajo que lleva por título “**Diseño de un control automatizado de temperatura para un horno de secado de pintura electrostática**”. Presentado para optar por el título de Ingeniero en Automatización en la Universidad de La Salle, Bogotá. El trabajo logra relacionarse debido a que se diseña un sistema de control de temperatura y logra profundizar el tópico de los equipos e instrumentación a usar para el diseño, buen funcionamiento y programación de hornos.

La metodología empleada en dicho proyecto fue de tipo proyecto factible el cual propone una solución a la problemática existente de deficiencias en los cofres que terminan su proceso de fabricación, el estudio permitió captar información vital para los parámetros de diseño del proyecto.

En síntesis los hornos pueden tener diferentes fuentes de alimentación y potencias de trabajo según sus dimensiones, sabiendo que los hornos eléctricos tienen la capacidad de con ayuda de equipos alcanzar altas temperaturas y controladas, logra ser una gran opción a la hora de trabajar con un túnel de calor.

Por lo tanto esta investigación aporta los sistemas necesarios para que el horno mantenga una temperatura constante por toda su longitud y además una guía de los equipos necesarios para mantener a este bajo condiciones controladas.

Asimismo, Martínez, M. (2020) Realizó una investigación con el título “**Diseño de un horno para tratamientos térmicos de aceros para la empresa SMO servicios mecánicos y metalúrgica**” Presentado para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico en la Universidad

Técnica del Norte, Ecuador. Investigación que tiene relación directamente al ser un horno, este antecedente sirve como base porque desarrolla puntos como el determinar los principales parámetros al diseñar un horno, tanto al sistema eléctrico como estructural, realiza directamente los cálculos matemáticos para el diseño mecánico además de la selección de materiales según la temperatura de trabajo y modelación equipo.

El propósito de dicha investigación fue el de mejorar la tecnología de tratamientos térmicos en Ecuador, debido a que está un poco atrasada, con ayuda de la fabricación de dicho equipo podrían evolucionar en tecnología. La metodología de la investigación fue de tipo propositiva con diseño y simulación, proponiendo un equipo con capacidad de realizar tratamientos térmicos de altas temperaturas empleando un horno eléctrico trabajando con precios mucho más competitivos que hornos fabricados en el exterior. La investigación aporta datos importantes sobre los parámetros estructurales que debe cumplir el horno para ser seguro, además que gracias a la fabricación de este se puede obtener una estimación de los costos de materiales, equipos y mano de obra para la fabricación del horno.

De la misma forma, Castro, L. y Cortes, J. (2022), realizaron una investigación con el título de **“Modelo matemático de un horno resistivo para termoformado de láminas de polipropileno”**. Presentado como un artículo científico en la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. El objeto de estudio estuvo enfocado en los cálculos termodinámicos de un horno con resistencias eléctricas en la población de la ciudad de Riobamba.

Se observa de la investigación señalada con anterioridad la forma en la que se diseña y calcula el modelo de un horno resistivo, empleando un controlador PID en el sistema mostrando además su efectividad, Analiza además el cálculo de la resistencia que necesita el horno según la temperatura a la que trabajara, añadiendo también los cálculos de radiación y convección según las dimensiones del horno tanto como los aislantes. En la actualidad el proceso de envolver con termoencogibles tiene bastante fama por su utilidad y el aporte trata de estudiar la forma más económica de hacer este trabajo logrando buenos acabados.

La metodología empleada en dicho artículo fue de tipo proyecto factible logrando cumplir con los objetivos propuestos para la fabricación de láminas translucidas de polietileno, se relaciona directamente ya que esta investigación trabaja con el material que se usara en la presente investigación, recolectando datos importantes como la temperatura a la que debe ser calentada las láminas de polietileno para su contracción, el tiempo de calentamiento que proporciona

información acerca del recorrido mínimo del túnel de calor, incluyendo también los tiempos de enfriamientos para que el polietileno vuelva a sus características mecánicas a temperatura ambiente. Tomando en cuenta en todo momento el tema económico, en lo que se busca la mayor eficiencia y por lo tanto ahorro de recursos.

Un antecedente a considerar es el elaborado por Briceño, J. y Silva, C. (2022) en su estudio titulado **“Plantear un sistema alternativo como fuente de energía para el diseño y funcionamiento de un horno crematorio dentro de los estándares ambientales”**. Presentado para optar por el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad José Antonio Páez, Venezuela. Donde tuvo como objeto de estudio el diseño de un horno crematorio, aportando conocimientos de cálculos de transferencia de calor en hornos o cámaras cerradas, además hace referencia al uso de diferentes aislantes de temperatura permitiendo servir como base en el desarrollo de este proyecto.

La metodología empleada fue de tipo proyecto factible, en la que se propone una solución a la problemática del alto coste de los servicios crematorios en el país, ya que a diferencia este equipo crematorio trabaja con una fuente de energía alternativa mucho más económica. En relación al estudio este permite hacer un análisis de las opciones óptimas de espesor de los aislantes de la estructura del túnel de calor, basado en la transferencia de calor y materiales, además del conocimiento de que es recomendable el precalentamiento del horno por 5 minutos previo a su operación principal.

Por último, Romero, Andrés y Reyes, Mateo (2022) Realizaron una investigación titulada **“Ingeniería inversa y optimización de un horno de vacío para los laboratorios de Ciencia de los Materiales y Procesos de Manufactura del DCEM”**. Presentado para optar por el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador. Donde el objeto de estudio estuvo enfocado en la rehabilitación y mejora de un horno de vacío multifuncional ubicado en el departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (DCEM).

Los datos resultantes del trabajo mencionado anteriormente indican la correcta forma en la que se debe hacer el diseño térmico de los hornos con paredes planas, así mismo, los cálculos de pérdidas de calor en el ambiente y las de radiación, por otra parte, profundiza el estudio de resistencias eléctricas abordando además los sistemas de control y PID. Se debe agregar que en dicho proyecto se realizó el análisis del espesor del aislante, sin embargo, no se hizo énfasis en el material usado. Este aporte sirve como orientación en la búsqueda de una alta eficiencia y eficacia

en el sistema, para esto se necesita de estudios anteriores que lleven al éxito la investigación tomando en cuenta las recomendaciones.

La metodología empleada fue un proyecto factible y experimental. Se logró cumplir el objetivo de la recuperación e implementación de un horno de vacío en el que se añadieron mejoras e incluyeron actividades de mantenimiento preventivo y automatización, el trabajo logra relacionarse debido a que el resultado del mismo fue el rediseño y simulación del horno en CAD/CAE.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Teoría de Termocontracción

Para Ronald Mayancela, el sistema de envase en termocontraíble se fundamenta en la utilización de un material termoplástico que se caracteriza por variar sus dimensiones y adecuarse a la forma del objeto a envolver, cuando se lo somete a una determinada temperatura (2004, p.21).

Dicha teoría parte de aplicar calor para afectar las fibras de un polímero que en el momento de su fabricación se alteran, fibras que son modificadas en la dirección longitudinal y transversal, permitiendo así que su funcionalidad o diseño se aplique al empaque de productos, de forma tal queden compactos sin necesidad de aplicar, ajustar o acondicionar manualmente materiales extras. El diseño de una película de un polímero capaz de ajustarse al objeto que está cubriendo ajustándolo y sellándolo por completo sin necesidad de aplicar ningún tipo de material adicional solo aplicando el calor suficiente para que este recupere su memoria (forma inicial) y cumpla el objetivo requerido. Para fabricar este tipo de polímero es necesario hacer un proceso llamado contracción y este proceso posee cuatro etapas.

- **Etapas**

A continuación se presentarán las 4 etapas de la termocontracción en la que se explicara brevemente en que consiste cada una.

- Etapa 1 (Ablandamiento de la película). Consiste en atacar térmicamente la película hasta que alcance la temperatura de 100 °C, en este punto se logra observar que la película del polímero se deforma y sufre alargamiento en ambas direcciones tanto transversal y longitudinal.
- Etapa 2 (Retracción de película). Después de alcanzar la temperatura de 100 °C, inicia el proceso de retracción acelerada de la película, alcanzando así un desplazamiento importante que aporta el 90% de la retracción total.

- Etapa 3 (Estabilización). Una vez alcanzada el desplazamiento necesario en este punto ya se deja de contraer, aun así permanezca a la temperatura de contracción o superior a ella.
- Etapa 4 (Enfriamiento). Mientras se enfría el polímero completa su proceso de retracción, esta etapa muestra el resultado final del proceso de contracción, es importante no tanto por el mayor porcentaje de retracción sino por el incremento de la fuerza de contracción del polímero.

2.2.2 Teoría de Transferencia de Calor

De acuerdo a Holman (1999), “La transferencia de calor es aquella ciencia que busca predecir la transferencia de energía que puede ocurrir entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura. La termodinámica enseña que esta transferencia de energía se define como calor” (p. 17).

En muchos lugares donde la persona se encuentre, siempre experimentará una diferencia de temperatura, esta energía se transfiere de la región de mayor a la de menor temperatura. La ciencia llama a este tipo de energía transmitida térmica, calor. En la termodinámica hay leyes que tratan la transferencia de energía, pero estas leyes solo hacen referencia a sistemas que se encuentran en equilibrio, esto conlleva a que solo pueden utilizarse estas leyes para analizar la cantidad de energía de un sistema de equilibrio a otro, por tal motivo, no se puede usar para saber con exactitud la rapidez con que pueden producirse los cambios de transferencia de calor.

Se puede hablar de la ciencia llamada transferencia o transmisión de calor como el complemento de los principios primero y segundo de la termodinámica, proveyendo así métodos para analizar en detalle la velocidad de transferencia de calor y todos los parámetros que varían durante este proceso. Para la transferencia de calor existen tres tipos y son la conducción, convección y radiación.

2.2.3 Mecanismos de Transferencia de Calor

Para propósitos de estudio se describirán los mecanismos que influyen directamente en el diseño del horno, estos mecanismos son la transferencia por conducción y por convección, la radiación no tiene un efecto apreciable para este caso.

- **Transferencia de Calor por Conducción**

Fundamentalmente, la transferencia de calor por conducción es el resultado de interacciones moleculares. Las moléculas de un objeto que está a una temperatura más alta vibran

con mayor rapidez, estas chocan contra las moléculas menos energéticas situadas en la parte de menor temperatura del objeto (Carballo, 2018, p. 06).

Avanzando el razonamiento se dice que este tipo de transferencia de calor se puede explicar de manera sencilla haciendo referencia a un medio, en este caso sería el aire, este intermedio entre dos placas debido a que una placa tiene determinada temperatura más alta que la otra, esta placa transfiere calor al medio gaseoso las moléculas de gas chocan entre sí transfiriendo temperatura de molécula a molécula, este fenómeno se da en dirección decreciente de temperatura. En el momento de medir o cuantificar este proceso, se puede determinar mediante a las ecuaciones apropiadas y fundamentales, estas no sirven para cuantificar que cantidad de energía se transfiere por unidad de tiempo, la ecuación modelo para este proceso se le conoce como la ley de Fourier.

➤ **Ley De Fourier**

Sirve para cuantificar la conducción y dice que la tasa a la cual el flujo es transferido por conducción, $H = Q \Delta t$, es proporcional al gradiente de temperaturas dT/dx y al área transversal a la dirección de flujo, es decir:

$$H = -kA \left(\frac{dT}{dx} \right)$$

Se debe agregar que k es la conductividad térmica del material y el signo menos es una consecuencia de la segunda ley de la termodinámica, la cual requiere que el calor fluya de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura. Por otro lado hay que tener presente que el gradiente de temperatura $\frac{dT}{dx}$ indica que la temperatura T es función de x , por lo tanto, un gradiente de temperatura negativo indica que la temperatura decrece al aumentar los valores de x .

• **Transferencia de Calor por Convección**

Según Connor (2020), “La convección es la transferencia de masa o la transferencia de calor debido al movimiento masivo de moléculas dentro de fluidos como gases y líquidos. Aunque los líquidos y gases generalmente no son muy buenos conductores de calor, pueden transferir calor rápidamente por convección”.

Conviene subrayar que esta se produce mediante un fluido en contacto con un sólido, la convección se realiza únicamente por medio de materiales fluidos. Lo que se le llama convección es al transporte de calor mediante un fluido en movimiento. El movimiento de un fluido se da en cualquier instante de tiempo y se asocia con el hecho que gran cantidad de moléculas se trasladan de manera conjunta o como agregados.

Este movimiento se da en presencia de un gradiente de temperatura. Las moléculas en el agregado permanecen en movimiento aleatorio, la transferencia de calor se debe a una superposición de transporte de energía por dicho movimiento de las moléculas, que a su vez contribuye al movimiento general del fluido. Cuando un fluido pasa a través de una superficie caliente, debido a la interacción del fluido sobre la superficie, la velocidad de dicho fluido desarrolla un perfil en el que la velocidad varía de cero en la superficie a un valor que tiende a infinito asociado con el flujo. Dicha región se le conoce como capa límite de velocidad o hidrodinámica.

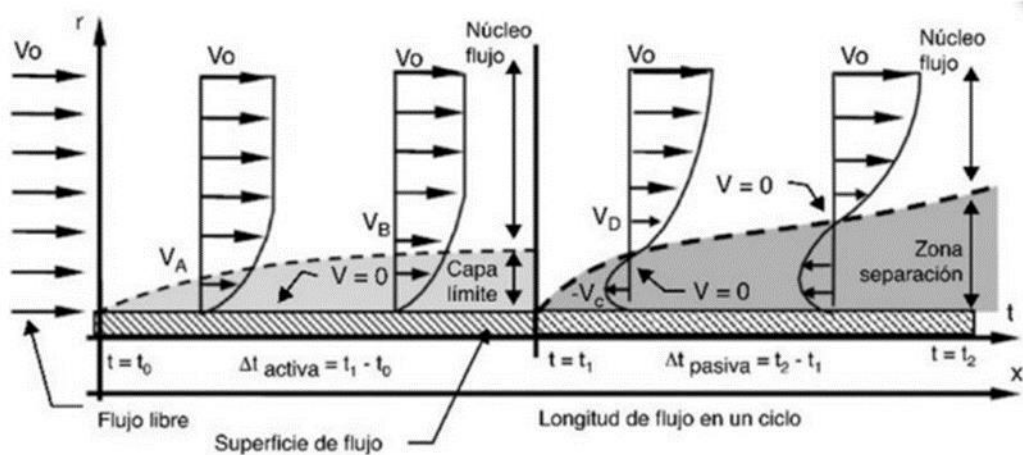


Figura 1. Capa límite de velocidad.

Fuente: Bustamante, J. y Valbuena, J. (2012)

➤ **Convección Forzada**

Para esta forma de convección se utiliza un medio externo, tal como un ventilador o una bomba, para acelerar el paso del flujo del fluido sobre la cara del sólido. El movimiento rápido de las partículas de fluido sobre la cara del sólido maximiza el gradiente de temperatura y aumenta la tasa de intercambio de calor.

➤ **Convección Natural**

En este caso el movimiento del fluido adyacente a una cara sólida se origina debido a las fuerzas de flotación, inducidas por los cambios en la densidad del fluido y debido a las diferencias de temperatura entre el sólido y el fluido. Cuando se deja enfriar una placa caliente al aire libre, las partículas del aire adyacente a la cara de la placa se calientan, su densidad disminuye y, por lo tanto, empiezan a elevarse.

2.2.4 Aislamiento Térmico

Según Palomo, M. (2017), “Los materiales aislantes se pueden definir como aquellos que presentan una elevada resistencia al paso del calor, reduciendo la transferencia de este calor a su cara opuesta, por lo tanto podemos decir que protegen del frío y del calor” (p. 07).

- **Selección de Aislante**

Conviene subrayar que cualquier material no sirve para ser usado para aislar, para saber cuál es el más efectivo hay que tener en cuenta el tipo de efecto que se busca, para ello se tienen tres tipos de efectos diferentes:

- **Reflexivo**

Cuando se desea bajar la transferencia de calor por radiación, un material para poder ser efectivo en el momento de absorber la radiación infrarroja depende tanto de su naturaleza y el color de superficie, en el mercado se encuentran muchos materiales con propiedades reflexivas, pero en realidad los mejores emisores y amortiguadores son los que tienen en su superficie un color negro mate, también se encuentra aquellos que tienen el efecto contrario que son los de color de superficie brillantes y blanco reflexivo. Ya que un material que tiene propiedades solo para reducir la transferencia de calor por radiación solo se puede usar en el exterior o interior de una superficie de un material compuesto o en medio de dos placas, tubos o cavidad.

- **Resistivo**

Este tipo de efecto se logra cuando se quiere bajar la transferencia de calor por conducción, trata de resistencia de aislamiento, también se conoce como aislamiento a granel, uno de los medios que tiene más alta resistencia a la conducción es aire, se puede explicar más fácilmente que los mejores aislantes son aquellos que tienen la facultad de atrapar pequeñas bolsas de aire dentro de sí mismo, este tipo de propiedad se puede encontrar en materiales tales como: lana mineral, fibra de vidrio y poliestireno, si se logra detener el aire dentro de estas llamadas bolsas se puede garantizar que la conducción de calor por convección que prácticamente anulada.

- **Capacitivo**

Este tipo de aislamiento no sufre ningún efecto cuando el calor es constante en cuanto a su flujo se refiere, esto sucede cuando la temperatura en ambos lados de un material es igual y constante. Si llegara a ver cambio de temperatura rápidamente los efectos que tiene el aislamiento capacitivo si serian de gran importancia, todo esto se debe a que la conducción de calor no sería instantánea, esto ocurre en casos tales como en ladrillos donde sí se experimenta un cambio de

calor en el exterior se tomaría alrededor de ocho o nueve horas en llegar al equilibrio térmico de la parte exterior y la interior, a este retraso se le conoce como desfase térmico, este desfase se puede medir como la diferencia de tiempo entre el pico fuera de la temperatura y la temperatura máxima en la superficie interior de un elemento.

2.2.5 Descripción del Funcionamiento del Túnel

El recinto del horno está formado por la caldera exterior y el aislamiento térmico en cuyo interior se disponen las resistencias de calentamiento y la carga. El calor en el recinto se genera aplicando tensión a estas resistencias que se encuentran uniformemente distribuidas a lo largo del horno (Mayancela, 2004, p.25).

En concreto, este túnel usado en los procesos de termocontracción, es un tipo de horno continuo con sección longitudinal mayor a la transversal, generalmente son fabricados con láminas de acero galvanizado o también con acero inoxidable.

Es importante señalar que el horno está conformado por una cámara independiente acoplada a una estructura construida en ángulos de acero. En el costado de la cámara se ubica el sensor de temperatura, entre la pared externa e interna se aloja una capa de lana de vidrio y en los extremos de la cámara unas persianas aislantes en tela siliconada para disminuir el intercambio de calor con el ambiente. La cámara lleva en su parte superior un ducto colector de aire donde se encuentran ubicados un ventilador de recirculación de aire y elementos calefactor a los costados. El horno cuenta con dos rodillos guías a los extremos y una cama de rodillos donde se instalará una banda transportadora.

De este proceso se puede recalcar que el calentamiento de la carga se realiza mediante convección forzada, en la cual una corriente de aire a elevada temperatura cede calor al paquete, esta corriente de aire recircula por resistencias ubicadas en la descarga de aire del ventilador tipo turbina.

2.2.6 Descripción de los Componentes del Túnel

2.2.6.1 Resistencias Eléctricas

El calentamiento de piezas por resistencias eléctricas puede ser directo, cuando la corriente eléctrica pasa por las piezas, o indirecto, cuando las piezas se calientan por radiación, convección o una combinación de ambas, procedente de las resistencias propiamente dichas dispuestas en las proximidades de las piezas. En la industria es mucho más frecuente el calentamiento indirecto por

resistencias eléctricas debido a que este permite una mayor versatilidad en su uso y no produce alteraciones directas al producto. Este tipo de resistencias indirectas pueden ser:

- Barras, varillas, alambres o pletinas, dispuestos en las paredes de la cámara de calentamiento del horno, transmitiendo calor a las piezas por radiación, en la figura 2 se puede observar la colocación de este tipo sobre el horno.
- Paquetes de resistencias de los mismos materiales que transmiten el calor por convección al aire o gases, y de estos, también por convección, a las piezas (ver figura 3).
- Los mismos materiales, dispuestos en el interior de tubos radiantes (ver figura 4).
- Resistencias blindadas, dispuestas en el interior de fundas metálicas de pequeño diámetro con un material cerámico de llenado de las fundas metálicas (ver figura 5).

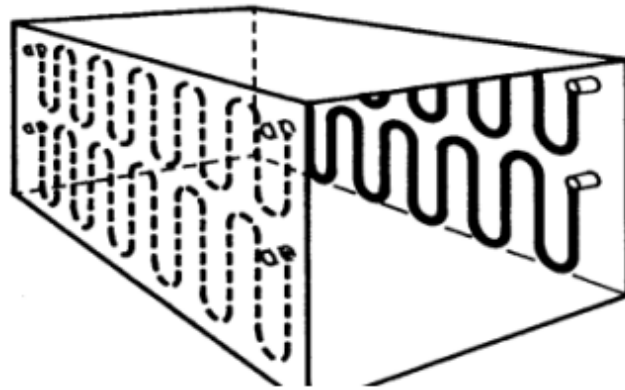


Figura 2. Disposición de resistencias de alambre en horno.

Fuente: Sánchez, J. (2018)



Figura 3. Paquetes de resistencias en espiral.

Fuente: Resista SAS (s.f)

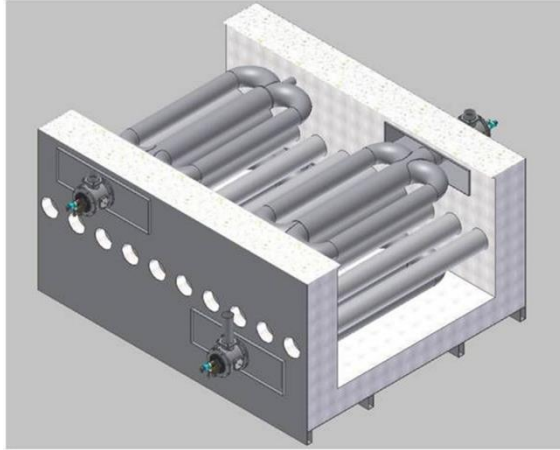


Figura 4. Resistencias en tubos radiantes.

Fuente: Esapyronics (s.f)

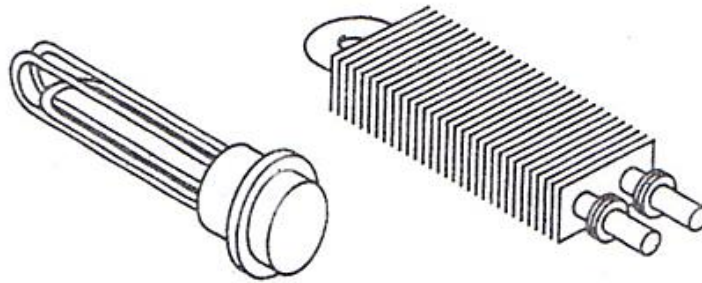


Figura 5. Resistencias blindadas.

Fuente: Mayancela, R. (2004)

2.2.6.2 Ventiladores

El aire se hace circular en el interior del túnel mediante grupos motor-ventilador adecuados, para este tipo de hornos es importante que el caudal de aire se mantenga uniforme a lo largo del túnel, los ventiladores más utilizados en hornos se clasifican en dos tipos: centrífugos (de álabes rectos, curvados hacia adelante o curvados o rectos hacia atrás), y axiales.

- **Ventilador Axial**

Un ventilador axial tiene un eje giratorio accionado por motor (eje) en el que se montan aspas sesgadas que extraen el aire y lo fuerzan a salir en una dirección paralela al eje (ver figura 6). Los ventiladores axiales mueven de forma eficaz y eficiente grandes volúmenes de aire y no requieren mucha energía para funcionar, sin embargo los motores pueden verse expuestos al flujo de aire, por lo que se ve afectado ante altas temperaturas y contaminantes además que el flujo de aire que entregan es de baja presión.

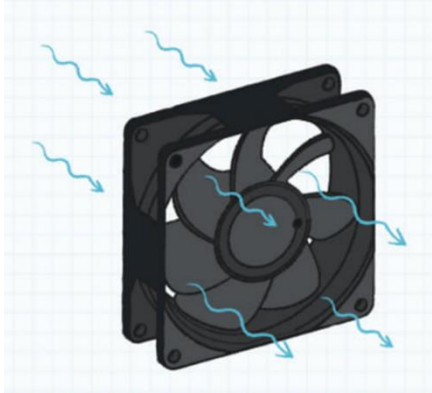


Figura 6. Ventilador axial.

Fuente: Rodríguez, A. (2021)

- **Ventilador Centrífugo**

Un ventilador centrífugo impulsa el aire a través de un rotor (también conocido como rodete, propulsor o turbina), el aire ingresa de forma paralela al eje; sin embargo, se expulsa en una dirección perpendicular (ver figura 7). Los ventiladores centrífugos esencialmente presurizan el aire dentro de la carcasa del ventilador. Comúnmente los ventiladores centrífugos tienen el motor fuera del flujo de aire, lo que permite impulsar aire con alta temperatura y/o contaminantes. Aunque producen una corriente de aire constante y de alta presión, en comparación con los ventiladores axiales, mueven menores volúmenes de aire.

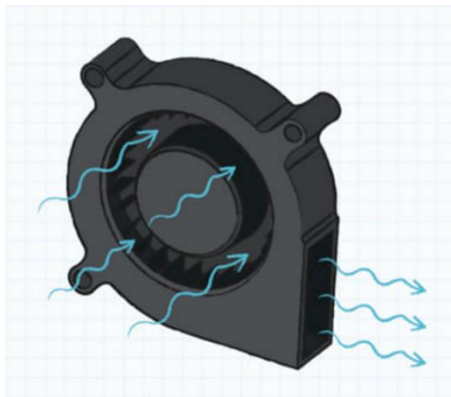


Figura 7. Ventilador Centrífugo.

Fuente: Rodríguez, A. (2021)

2.2.7 Termoplásticos

Según la empresa de reciclaje de plásticos (SINTAC), “Los termoplásticos se definen como polímeros que pueden fundirse y refundirse casi indefinidamente. Se funden cuando se calientan

y se endurecen al enfriarse. Sin embargo, cuando se congelan, los termoplásticos se vuelven vítreos y se rompen”.

Así mismo la mayor parte de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los cuales poseen cadenas asociadas por medio de débiles fuerzas Van der Waals (polietileno), fuertes interacciones dipolo-dipolo y enlace de hidrógeno, o incluso anillos aromáticos apilados (poliestireno). Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables en que después de calentarse y moldearse pueden recalentarse y formar otros objetos, mientras que en el caso de los termoestables, después de enfriarse la forma no cambia y arden.

Cabe mencionar que a pesar de que se pueden refundir indefinidamente, sus propiedades físicas pueden llegar a cambiar gradualmente a medida que se realiza este proceso, según él (historial térmico), logrando generalmente disminuir estas propiedades. Los más usados son: el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el metacrilato (PMMA), el policloruro de vinilo (PVC), el polietilentereftalato (PET), el teflón (o politetrafluoroetileno, (PTFE) y el nylon (un tipo de poliamida).

2.2.7.1 Películas Termoencogibles

Según la empresa manufacturera (grupo plastilene), “Las películas termoencogibles también conocidas como películas retráctiles son películas plásticas hechas con la combinación de varias resinas que se encogen al ser sometidas a una fuente de calor, por lo que reducen su tamaño, y ajustan la carga de manera que pueda manipularse como una sola unidad”.

Las películas son usadas en empaques secundarios, con y sin impresión; este empaque es diseñado para agrupar unidades homogéneas de manipulación en un concepto llamado carga. Esta carga se envuelve en una película termoencogible o retráctil, la cual es sometida a una fuente de calor constante por un tiempo determinado. Las películas se encogen, reduciendo su tamaño y se ajustan a la carga para formar la unidad compacta de manipulación.

Para ser más específicos se debe saber que las propiedades de contracción de los diferentes termoplásticos son distintas y dependen del rango de temperatura de reblandecimiento o endurecimiento del plástico y pueden ajustarse a una capacidad de contracción previamente determinable con exactitud.

Para trabajar con dichas láminas se debe saber exactamente a la temperatura a la que se contraen y se enfrían, la mayoría de los equipos de encogimiento funcionan con aire caliente entre (80 a 200 °C) y por lo regular se prefiere trabajar con bajas temperaturas de encogimiento porque

se obtienen resultados similares con equipos más sencillos, además de ahorrar energía y sobre todo no exponer a tanto calor al producto a envolver. Los tipos de plásticos termoplásticos más utilizados para el embalaje de productos son:

➤ **Polietileno (PE)**

Este plástico se divide en dos categorías, de alta densidad y de baja. El polietileno de alta densidad (HDPE), está formado por cadenas de moléculas rectas, sin bifurcaciones, por lo que la fuerza de atracción entre moléculas es alta, dando como resultado un plástico duro y resistente y estable, con él se fabrican, cajas para botellas de cerveza, leche y refrescos, algunos envases de productos lácteos y detergentes líquidos. El polietileno de baja densidad (LDPE) por el contrario está formado por cadenas con bifurcaciones, por lo tanto es un material menos resistente y más flexible, se ablanda con el calor; con él se fabrican juguetes, bolsas de plástico, entre otros (Álvarez, 2011, p. 45).

La película de polietileno termoencogible es una película gruesa, opaca y muy resistente porque puede resistir cargas considerables de peso, por lo que es comúnmente utilizada en la industria de bebidas y alimentos como son aguas, refrescos, latas, frascos y para agrupación de cajillas y o productos grandes y pesados. Para la elaboración de las películas se puede utilizar tanto el polietileno de baja densidad como el de alta.

Una característica del polietileno es que desarrolla la memoria de encogimiento cuando el material sale caliente del horno de la cabina de temperatura. Empieza a cambiar al enfriarse de un estado cristalino a un estado lechoso así como también reconoce su estado original y se contrae en sus medidas, dejando ajustado al producto que envuelve. Sin embargo el polietileno no encoge cuando se calienta, solo se vuelve más cristalino y flexible (cuando está dentro de la cabina del túnel) y al salir cuando se enfría se contrae en su tamaño ajustado los productos que se contiene en su empaque hasta dejarlos totalmente inmóviles.

➤ **Policloruro de Vinilo (PVC)**

Es un polímero termoplástico de gran versatilidad y es uno de los materiales plásticos más importantes de los disponibles hoy en día. Sus principales características incluyen resistencia mecánica, resistencia a la intemperie, al agua y a muchos reactivos. Además tiene propiedades aceptables de resistencia eléctrica. Dependiendo de la formulación utilizada es posible fabricar múltiples y variados productos como pueden ser: tuberías, botellas, perfiles, recubrimientos, espumas, entre otros (Álvarez, 2011, p. 40).

La película de PVC termoencogible es muy conocida porque es transparente y muy brillante, en la actualidad es el que se emplea para productos como cosméticos, bebidas, productos alimenticios, productos farmacéuticos, juguetes, todo tipo de recipientes de plástico, etc. Se usa mucho en aplicaciones donde se busca un aislamiento eléctrico como en el empaque de pilas o también como bandas o sellos de garantía y etiquetas termoencogibles o también conocidas como mangas. La contracción de la película de PVC, a diferencia de otros plásticos, como el polietileno, se logra a temperaturas bajas, característica importante para el embalaje de productos que son sensibles al calor.

➤ **Polioléfina**

Es un tipo de polímero que consiste en olefinas simples. La poliolefina se clasifica como un tipo de termoplástico y es uno de los más populares, este se compone únicamente de hidrógeno y carbono. La poliolefina es uno de los polímeros más abundantes en uso hoy en día sus aplicaciones son muchas, incluidos los productos de consumo como juguetes y recipientes de almacenamiento de consumo, y la electrónica industrial y los contenedores.

La película de poliolefina termoencogible es un producto elaborado mediante una coextrusión de polietileno y polipropileno; lo que le da cualidades muy especiales a estas películas. La poliolefina es muy transparente, delgada y resistente, sus diferentes formulaciones permiten que sea de alto encogimiento, alta velocidad de sellado y/o empaçado y resistente a objetos filosos. Estas características la hacen ser muy utilizada para los productos que se venden en supermercados y son exhibidos directamente al consumidor; ya que no pierde sus propiedades con el paso del tiempo. Se utiliza para hacer películas multicapas, son materiales no tóxicos y libres de olores lo que hace a esta película termoencogible la más segura en el mercado.

2.3 Bases Legales

Las bases legales no son más que leyes que sustentan esta investigación, las cuales se trabajan de manera jerárquica de acuerdo a la pirámide de “Kelsen”. Palella y Martins (2006) indican que las bases legales “Son las normativas jurídicas que sustentan el estudio desde la carta magna (constitución), las leyes orgánicas, las resoluciones decretos entre otros” (p.63).

2.3.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela

- En la Gaceta Oficial Extraordinaria Nro. 5.453 (2000), se establece en su capítulo IX de los derechos ambientales que:

El texto constitucional se caracteriza por desarrollar con la amplitud necesaria, los derechos y deberes ambientales de cada generación, y por reconocer el derecho que ellas tienen a un medio ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. Destaca, en este sentido, la necesidad de mantener un eficaz desarrollo de la seguridad ambiental en las fábricas y complejos industriales. (p.16).

- En la Gaceta Oficial Extraordinaria Nro. 5.453 (2000), se establece en su artículo 127 que: Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica. El genoma de los seres vivos no podrá ser patentado, y la ley que se refiera a los principios bioéticos regulará la materia.

Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley. (p.71).

2.3.2 Ley Orgánica del Ambiente

De la Gaceta Oficial Nro. 5.833 emitida el 22 de diciembre de 2006, sale esta ley donde se tiene como objetivo de la gestión ambiental en el desarrollo sustentable, en donde la sociedad y el estado deben contribuir para el máximo bienestar de la población, bajo las normas que proporcionen un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y seguro.

- Ubicado en el Título V, Capítulo III, De los demás Elementos del Ambiente, Artículo 60, apartados 1,2,3 y 4:

Para la conservación de la calidad de la atmósfera se considerarán los siguientes aspectos:

- Vigilar que las emisiones a la atmósfera no sobrepasen los niveles permisibles establecidos en las normas técnicas.
- Reducir y controlar las emisiones a la atmósfera producidas por la operación de fuentes contaminantes, de manera que se asegure la calidad del aire y el bienestar de la población y demás seres vivos, atendiendo a los parámetros establecidos en las normas que la regulan

y en cumplimiento de los convenios internacionales suscritos y ratificados por la República Bolivariana de Venezuela.

- Establecer en las normas técnicas ambientales los niveles permisibles de concentración de contaminantes primarios y secundarios, capaces de causar molestias, perjuicios o deterioro en el ambiente y en la salud humana, animal y vegetal.
- Establecer prohibiciones, restricciones y requerimientos relativos a los procesos tecnológicos y la utilización de tecnologías, en lo que se refiere a la emisión de gases y partículas, entre otros, que afectan la capa de ozono o inducen el cambio climático. (p.23).

2.3.3 Normas COVENIN

En cuanto, a la normativa para los hornos, la norma venezolana COVENIN, con la comisión técnica XXII de materiales refractarios se encuentra:

- La norma COVENIN 2975-92 de materiales refractarios muestra:
Concretos (moldeables) aislantes, muestreo y condiciones de aceptación, la cual tiene como objetivo establecer el plan de muestreo a ser aplicado a los concretos (moldeables) aislantes para precisar la aceptación de los mismos.
- La norma COVENIN 2110-83 de materiales refractarios muestra:
La clasificación de los concretos (moldeables) refractarios.
- La norma COVENIN 1894-92 de materiales refractarios muestra:
La determinación de las dimensiones y peso volumétrico de los ladrillos refractarios densos y aislantes.
- La norma COVENIN 1751-81 de materiales refractarios muestra:
La terminología de los materiales refractarios.
- La norma COVENIN 1747-90 de materiales refractarios muestra:
La determinación del cambio lineal permanente.
- La norma COVENIN 1966-84 de materiales refractarios muestra:
Los concretos (moldeables) refractarios y la preparación de probetas por vaciado.
- La norma COVENIN 1965-82 de materiales refractarios muestra:
La cocción de probetas de concreto (moldeables) refractarios.

2.3.4 Normas ASME

Esta norma desarrolla los códigos y los estándares que mejoran la seguridad pública, y proporciona aprendizaje constante y oportunidades de intercambio técnico que benefician la comunidad global de la ingeniería y de la tecnología.

La normativa proporciona en su sección IX calificación de soldadura, en la Sección V Ensayos no destructivos y en la sección II código de materiales ferrosos, no ferrosos, aportes y propiedades.

2.4 Definición de Términos

Calor: Es la energía que surge de la vibración de moléculas y que conlleva a un incremento en la temperatura. En física, el calor termodinámico no es más que una energía en tránsito que se conoce solo cuando cruza una frontera de sistemas termodinámicos. Cuando este se encuentra dentro de ese sistema o en sus alrededores, la transferencia, que se hace de adentro hacia afuera, se vuelve parte de la energía de ese sistema, a esto se le llama conducción de calor.

Conductividad Térmica: Es una propiedad de ciertos materiales capaces de transmitir el calor, es decir, permitir el paso de la energía cinética de sus moléculas a otras sustancias adyacentes. Se trata de una magnitud intensiva, inversa a la resistividad térmica (que es la resistencia de ciertos materiales a la transmisión del calor por sus moléculas).

Diseño: Es una serie común de pasos que los ingenieros utilizan para crear productos y procesos funcionales. El proceso es sumamente iterativo: las partes del proceso a menudo deben repetirse muchas veces antes de que se pueda ingresar otra, aunque las partes que se repiten y el número de dichos ciclos en un proyecto determinado pueden variar.

Eficiencia: Es un término que se refiere a la ausencia de recursos productivos ociosos, es decir, a que se están usando de la mejor manera posible los factores en la producción de bienes o servicios. Aplicado a máquinas es la razón de la energía útil que proporciona la máquina o dispositivo. La eficiencia se utiliza para describir la energía que un sistema puede extraer y hacer útil de su fuente de energía.

Embalaje: Es todo aquello necesario en el proceso de acondicionar los productos para protegerlos, y/o agruparlos de manera temporal pensando en su manipulación, transporte y almacenamiento.

Estándar: Es la definición clara de un modelo, criterio, regla de medida o de los requisitos mínimos aceptables para la operación de procesos específicos, con el fin asegurar la calidad.

Resistencia: Hace referencia a la oposición al paso de corriente eléctrica, cuanto más se opone un elemento de un circuito a que pase por él la corriente, más resistencia va a tener. Se mide en Ohmios y se representa con la letra R.

Temperatura: Se refiere a una magnitud física utilizada para medir la energía interna de un sistema termodinámico, que se genera con los movimientos de las partículas que son parte del sistema. A mayor movimiento, aumenta la temperatura, mientras que a menor movimiento, la temperatura tiende a disminuir.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Para ejecutar la presente investigación, de acuerdo al planteamiento del problema y para el logro de los objetivos, se implementa una metodología adecuada, Tamayo y Tamayo, (2003) indican que “Científicamente la metodología es un procedimiento general para lograr de manera precisa el objetivo de la investigación, por lo cual nos presenta los métodos y técnicas para la realización de la investigación” (p. 175). En este sentido, se detallan los criterios metodológicos que sustentan la presente investigación, así como las técnicas e instrumentos de recolección de datos que se utilizaran para el desarrollo de los objetivos de la investigación.

3.1 Enfoque de la investigación

Sampieri, Collado y Baptista (2010), sostienen que: “Todo trabajo de investigación se sustenta en dos enfoques principales: el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo, los cuales de manera conjunta forman un tercer enfoque, el enfoque mixto” (p. 4). En relación con los principales enfoques de investigación los autores consideran que esta investigación tendrá un enfoque mixto de tipo tecnológico.

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. Las preguntas de investigación versan sobre cuestiones específicas y de ellas se determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas y se establece una serie de conclusiones. (Sampieri, Collado y Baptista, 2010, p.4).

Como resultado de un enfoque tecnológico se obtienen conocimientos que establecen con detalle: acciones, requisitos, características, diseño, materiales, costos, responsables, métodos, instrumentos, y demás circunstancias, que describen el qué y el cómo, con lo que se promueve el logro de los objetivos (García, 2009, p.81).

En esta investigación se va a desarrollar una idea delimitada la cual utilizará datos específicos acerca de los productos, estos proporcionan los parámetros necesarios para el diseño del horno y por ello confirma que la investigación tiene un enfoque cuantitativo. Dicho lo anterior como para solucionar la problemática se plantea un diseño con todas sus características estructurales, se reafirma el carácter tecnológico de la investigación.

3.2 Tipo de Investigación

Existen varios tipos de investigación científica, de acuerdo al método y los objetivos que se plantean. Ahora bien, la presente investigación es de tipo proyecto factible, considerando la perspectiva de los autores.

Este tipo de investigación propone soluciones a una situación determinada a partir de un proceso de indagación. Implica explorar, describir, explicar y proponer alternativas de cambio, más no necesariamente ejecutar la propuesta. Todas las investigaciones que implican el diseño o creación de algo con base a un proceso investigativo, también entran en esta categoría (Hurtado, 2000, p.122).

En efecto el tipo de investigación correspondiente a este trabajo será la de un proyecto factible, puesto que consiste en la elaboración de una propuesta o de un modelo, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico. Se hará una propuesta del diseño de un horno de termocontracción para láminas de plástico termoencogible utilizando los programas de ingeniería AutoCAD, Inventor y Solidworks.

3.3 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es la metodología que se ejecuta para cumplir con los objetivos del estudio. Según Arias (2016), “El diseño de investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la investigación se clasifica en: documental, de campo y experimental” (p. 27).

El diseño de investigación hace explícitos los aspectos operativos de la misma. De acuerdo a Hurtado (2012), “El diseño alude a las decisiones que se toman en cuanto al proceso de recolección de datos que permiten al investigador lograr la validez interna de la investigación” (p. 155).

El diseño orienta al investigador a desarrollar el objeto de estudio para responder las interrogantes planteadas. En este mismo orden de ideas, el diseño correspondiente a esta investigación es de campo y documental.

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental (Arias, 2016, p.31).

La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos (Arias, 2016, p.27).

Es por ello que se considera la presente investigación de campo y documental, pues se obtendrá información del sitio en donde ocurren los hechos para proporcionar un buen diseño y a la vez se emplearan datos secundarios sobre todo los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco teórico.

3.4 Nivel de la Investigación

De acuerdo a Arias (2016), “El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que desborda un fenómeno u objeto de estudio” (p. 23).

Una investigación de campo puede ser llevada a cabo en diferentes niveles, en el caso del presente trabajo el nivel más adecuado será el descriptivo. Arias (2016) considera a este nivel como: “La caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de conocer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a lo profundidad de los conocimientos se refiere” (p. 24).

El propósito de este nivel es el de interpretar realidades de hecho. Incluye descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos. El nivel descriptivo hace énfasis sobre conclusiones dominantes o sobre cómo una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente (Palella y Martíns, 2006, p.102).

Es por esto que el presente trabajo se considera descriptivo, se describirá cada proceso que conlleva el diseño del horno de termoencogible para así establecer el comportamiento de este si se lleva a cabo su fabricación.

3.5 Población y Muestra

Según Palella y Martíns (2006) “La población es el conjunto finito o infinito de unidades de las que se desea obtener información y sobre las cuales se van a generar las conclusiones” (p. 115). Las unidades de estudio son las entidades (personas, objetos, regiones, instituciones, documentos...) que poseen el evento de estudio. Dicho lo anterior, para el caso en estudio se puede considerar como población los diferentes tipos de horno túnel presentes en el estado Carabobo.

Cuando por diversas razones resulta imposible abarcar la totalidad de los elementos que conforma la población, se recurre a la selección de una muestra. Sampieri, Collado y Baptista

(2010), define la muestra como: “Un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población” (p. 175).

Por otra parte Tamayo, M. (2003), destaca que: “A partir de la población cuantificada para una investigación se determina la muestra, cuando no es posible medir cada una de las entidades, de población; esta muestra, se considera, es representativa de la población” (p. 176).

Bajo este orden de ideas resulta conveniente tomar una muestra para efecto de esta investigación, esto se debe a que la población a pesar de no ser tan grande resulta no accesible para efectos documentales gracias a la gran diversidad de hornos túnel. Lo mejor es limitar la población a estudio mediante la muestra ideal que está compuesta por los túneles de termocontracción que corresponde al diseño que se desea realizar en el presente trabajo y así obtener información más aprovechable.

3.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Una vez definido el evento y sus indicios, así como las unidades de estudio, es necesario que el investigador seleccione las técnicas y los instrumentos mediante los cuales obtendrá la información necesaria para llevar a cabo la investigación. Todos estos aspectos van en correspondencia con el problema, los objetivos y el diseño de la investigación.

3.6.1 Técnicas de Recolección de Datos

De acuerdo a Hurtado (2012), “Las técnicas tienen que ver con los procedimientos utilizados para la recolección de los datos, es decir, el cómo. Estas pueden ser de revisión documental, observación, encuestas, técnicas sociométricas, entre otras” (p. 161). Basándonos en esto, las técnicas utilizadas para obtener los datos en la presente investigación fueron las siguientes:

- **Observación Directa**

La observación es fundamental en todos los campos de la ciencia. Consiste en el uso sistemático de los sentidos orientados a la captación de la realidad que se estudia. Según Palella y Martíns (2006) “La observación es directa cuando el investigador se pone en contacto personalmente con el hecho o fenómeno que trata de investigar” (p. 129).

Dicho lo anterior, para la presente investigación fue necesario el uso de esta técnica debido a que era necesario asistir a la empresa para observar en donde se va a implementar el diseño, gracias a esto se pueden tomar bien las dimensiones del espacio para que el horno se adapte bien al entorno.

- **Entrevista Estructurada**

Una entrevista tiene como finalidad obtener datos mediante un diálogo que se realiza entre dos personas, se caracteriza por su profundidad, es decir, indaga de forma amplia en gran cantidad de aspectos y detalles. De acuerdo a Arias (2016), una entrevista estructurada “Es lo que se realiza a partir de una guía prediseñada que contiene las preguntas que serán formuladas al entrevistado” (p. 73).

Acorde con esto, esta técnica le permite conseguir datos a esta investigación a través de conversaciones con personas ligadas al proyecto para así por medio de la formulación preestablecida de preguntas saber con qué parámetros debe cumplir el diseño para que pueda realizar todas sus funciones esperadas.

- **Revisión Documental**

Con la revisión documental se aproxima al conocimiento recopilando la información más relevante sobre un tema en específico. De acuerdo a Arias (2016), “Se fundamenta en la utilización de documentos, revistas, artículos, archivos, libros, etc. Que ofrezcan datos procesados anteriormente por organismos oficiales, instituciones públicos o privados, entre otros” (p. 30).

Esta técnica le brinda información a la investigación sobre ecuaciones a ser aplicadas para el diseño del horno, además de obtener las propiedades de los materiales a utilizar para así tomar las decisiones más adecuadas para que el diseño funcione con seguridad.

3.6.2 Instrumentos de Recolección de Datos

La aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser guardada en un medio material de manera que los datos puedan ser recuperados. A dicho soporte se le denominó instrumento. Según Hurtado (2012), “Los instrumentos representan la herramienta con la cual se va a recoger, filtrar y codificar la información, es decir, el con qué” (p. 161). Los instrumentos están en correspondencia con las técnicas, por ello para la presente investigación fueron necesarios:

- **Diario de Campo**

El cuaderno de campo es una de las herramientas más útiles y necesarias para recoger observaciones científicas sobre el campo, estos proporcionan por tanto un contexto a los datos, combinando datos estructurados y no estructurados, que constituyen una narrativa concreta y personal de dichas observaciones (Fernández, S. y Torralba, A., 2021, p.4).

Debe ser utilizado para describir quién, qué, por qué, dónde, cuándo y cómo suceden los eventos, actividades o procesos que se desean responder como parte de la pregunta de investigación. En la investigación se hizo uso del diario para así tener constancia de los datos obtenidos en el campo, es decir, la información del entorno y sus respectivas mediciones además de sucesos que sucedan en el momento.

- **Guía de Preguntas**

En ella se encuentran las cuestiones que se discutirán en la conversación con el entrevistado. De acuerdo a Palella y Martíns (2006), la guía “Se basa en un listado fijo de preguntas, cuyo orden y redacción permanece invariable” (p. 142). Esto está ligado directamente con la entrevista estructurada porque en ella van a ser formuladas las cuestiones necesarias sobre el tema. Este instrumento será el que aporte una mayor cantidad de datos a la investigación, la guía de preguntas permitirá obtener los parámetros específicos con los que va a trabajar el horno además de las condiciones de embalaje deseadas.

- **Grabador**

La grabación es el acto y el resultado de grabar, es decir, registrar sonidos o imágenes. Puede decirse que el proceso de grabación consiste en la captura y/o conversión de información, que se almacena en un determinado medio o soporte. Una vez registrada, esa grabación puede reproducirse. La utilización del grabador permitió que la entrevista pueda ser reproducida varias veces para así obtener la mayor y más precisa información sobre los datos que salieron en el diálogo.

- **Ficheros**

Para Palella y Martíns (2006) “Las bibliotecas e internet son las mejores opciones que se le presentan al investigador, en especial en cuanto se refiere a obtener información sobre libros, revistas científicas y boletines informativos” (p. 154).

Este instrumento permitió mantener un orden en la recolección de datos para realizar la investigación, gracias a esta las páginas web, los libros consultados, los temas a utilizar, sus autores y los aportes extra pudieron ser clasificados fácilmente.

- **Computadora**

Es una máquina electrónica digital programable que ejecuta una serie de comandos para procesar los datos de entrada, obteniendo convenientemente información que posteriormente se envía a las unidades de salida. Este equipo fue fundamental para la realización de la investigación

debido a que permite modelar los datos obtenidos de manera que sea visible el diseño obtenido simulando las condiciones que tendría al ser construido.

- **Validación del Instrumento**

Para Palella y Martíns (2006), “La validez se define como la ausencia de sesgos. Representa la relación entre lo que se mide y aquello que realmente se quiere medir” (p. 172). Existen al menos tres dimensiones que se deben considerar cuando hablamos de validez de un instrumento de medición: la validez de contenido, la validez de criterio, y la validez de constructo.

- La validez de contenido se refiere al grado en que el instrumento de medición mide los componentes del dominio de contenido. Esta se establece a través del juicio o consenso de expertos.
- La validez de criterio se refiere al grado en que el instrumento de medición se correlaciona con otro criterio que mide lo mismo.
- La validez de constructo se refiere al grado en que el instrumento de medición explica el modelo teórico subyacente a la variable de interés.

De manera que la validación corresponde a una parte esencial para conocer realmente si los instrumentos utilizados para la investigación serán correctos. Para esta investigación se aplica la validez de contenido por medio del juicio de expertos (ver apéndice D).

3.7 Técnicas de Análisis de Resultados

El análisis constituye un proceso que involucra la clasificación, la codificación, el procesamiento y la interpretación de la información obtenida durante la recolección de datos. La finalidad del análisis es llegar a conclusiones específicas en relación al evento de estudio, y de dar respuesta a la pregunta de investigación. (Hurtado, 2000, p. 505). Como se afirmó, habiendo obtenido los datos será necesario analizarlos a fin de descubrir su significado en términos de los objetivos planteados al principio de la investigación. De acuerdo a los datos ofrecidos por las técnicas e instrumentos mencionados anteriormente, se analizarán los resultados por medio de las siguientes técnicas:

- **Matriz FODA**

Según Dyson (2004), el análisis FODA (también conocida como DOFA, FODA, MAFE en español y SWOT en inglés) es una de las técnicas más empleadas en la planeación estratégica, en especial para la determinación de la posición estratégica de la empresa (p. 631).

La herramienta FODA consiste en la construcción de una matriz a partir de la identificación de un listado de factores internos (fortalezas y debilidades) y externos (oportunidades y amenazas) que influyen en el desempeño de la organización. Posteriormente, se contraponen los factores internos con los externos, tal que permita generar estrategias fundamentadas en las fortalezas de la organización para corregir sus debilidades; tomar ventaja de las oportunidades y contrarrestar las amenazas. Esta herramienta es de las más utilizadas debido a su versatilidad porque puede ser usada en cualquier ámbito industrial y así como en cualquier lapso de tiempo que quiera ser estudiado.

- **Diagrama Causa-Efecto**

Un diagrama de causa y efecto (C&E) es una figura formada por líneas y símbolos cuyo objetivo es representar una relación significativa entre un efecto y sus causas. Fue creado por Kaoru Ishikawa en 1943, y también se le conoce como diagrama de Ishikawa (Besterfield, D., 2009, p. 78).

La naturaleza gráfica del diagrama permite que los grupos organicen grandes cantidades de información sobre el problema y determinar exactamente las posibles causas. Para su utilización se investigan los efectos “malos” y se emprenden acciones para corregir las causas, o los efectos “buenos” y se aprende cuáles causas son las responsables. Para cada efecto, es probable que haya numerosas causas. Cada causa principal se subdivide aún más en numerosas causas menores. Los diagramas de causa y efecto (que por su forma también se llaman “diagramas de espina de pescado”) son los métodos para representar todas esas causas principales y secundarias.

3.8 Fases Metodológicas

Explorar, desarrollar contenido y conocer a ciencia cierta sobre un tema implica una serie de etapas, las mismas se deben tener en cuenta y se les conoce como fases de la investigación.

Las fases metodológicas son las que enmarcan el direccionamiento de la investigación al igual que el desarrollo de la misma, y van en función a la propia estructura de cada objetivo específico.

Según Hurtado (2000), “En las fases de la investigación se determina el tema a llevar a cabo, la razón para seleccionar el tema, los métodos a utilizar, la factibilidad, la recolección de datos y un análisis que permita llegar a conclusiones” (p. 67).

El desarrollo de esta investigación estará separado en 5 fases de estudio para el cumplimiento de los objetivos específicos planteados.

Fase I: Diagnóstico de las condiciones actuales sobre las que se realiza el proceso en la empresa.

En esta fase inicial, se analizaron las condiciones del proceso de embalaje, luego se comprobaron los aspectos físicos referentes a la empresa como el espacio, la seguridad y la higiene. A partir de las primeras impresiones se prosiguió con la descripción del proyecto para solventar la problemática.

Fase II: Análisis y cálculos de los requerimientos técnicos necesarios para la realización del proyecto.

Planteado el proyecto, se comienza la recolección de datos para que el diseño cumpla con todos los requerimientos necesarios para realizar su propósito, estos datos son respecto a la fuente de alimentación a utilizar, la producción necesaria y el espacio disponible para su colocación. Al tener todos los datos se procede a realizar los cálculos térmicos y estructurales necesarios para cumplir con las especificaciones dadas.

Fase III: Selección de los materiales y equipos necesarios para el diseño.

Partiendo de las características técnicas que debe cumplir el diseño del horno se procede a seleccionar los materiales los adecuados para la fabricación. Además es necesario seleccionar los equipos añadidos que cumplan los requerimientos de funcionamiento del horno como lo son el motorreductor, la resistencia eléctrica, los ventiladores, entre otros.

Fase IV: Diseño de las partes constituyentes del horno utilizando el software Autodesk Inventor.

Al tener todos los criterios técnicos y estructurales que debe cumplir el horno y además conocer los materiales con los que se debe fabricar, se procede con el diseño de sus partes, esto se realiza mediante el software Inventor en donde se puede ver de forma modelada el horno de manera tridimensional facilitando las medidas que debe tener cada componente cuando se realice su fabricación.

Fase V: Determinación de la viabilidad económica, técnica y ambiental del proyecto.

En esta última fase se da a conocer el presupuesto necesario para efectuar el proyecto, también se estudiará si es viable económicamente, es decir, se comparará el costo de la fabricación hecha en Venezuela contra el horno que es comprado internacionalmente. Por último se verá si es viable llevarlo a cabo en condiciones de seguridad con la tecnología disponible en la empresa y si el resultado final no afecta negativamente el ambiente.

3.9 Cuadro de Operacionalización de Variables

De acuerdo a Arias (2016), “La operacionalización de variables se emplea en investigación científica para designar el proceso mediante el cual se transforma la variable de conceptos abstractos a términos concretos, observables y medibles, es decir, dimensiones e indicadores.” (p. 62). Una variable es operacionalizada con el fin de convertir un concepto abstracto en uno empírico.

La operacionalización se realiza cuando el investigador desea realizar un abordaje focalizado de la investigación, cuando ya tiene un concepto específico del evento y su intención es construir un instrumento estructurado. En este caso, el instrumento permitirá captar solo aquellos aspectos del evento que estén previamente definidos y contemplados en los indicios (Hurtado, 2012, p. 139).

Con las definiciones mencionadas anteriormente, se puede observar que la operacionalización de variables es un proceso que se presenta principalmente en el enfoque cuantitativo debido a que las variables deben ser susceptibles a ser observadas y medidas. Esto también establece definiciones exactas de cada variable, lo que aumenta la calidad de los resultados y mejora la solidez del diseño.

Por lo tanto de acuerdo al enfoque de la investigación y las técnicas para la recolección de datos, va a resultar conveniente realizar también un cuadro técnico metodológico donde se encuentren definidas las variables que se desean estudiar indicando su tamaño y los aspectos que cubre (ver apéndice B).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En el capítulo presente se llevó a cabo el análisis de la información obtenida por medio de las técnicas expuestas anteriormente en el marco metodológico. Estos datos son los que permitieron cumplir los objetivos propuestos de este trabajo, con la finalidad de diseñar el horno de termocontracción. Los resultados de cada objetivo se muestran a continuación.

4.1 Diagnosticar la Situación Actual de Embalajes en la Empresa

Este primer objetivo fue el que aportó la mayor cantidad de información para realizar el trabajo. El desarrollo de este consistió en conocer cómo se estaba llevando a cabo el proceso de embalaje y lo que resultaba de realizar el embalaje de esa forma. Gracias a esto, se denotó claramente la problemática y se entendieron las características que debía abordar el proceso. La información que se utilizó fue obtenida mediante las técnicas de observación directa y por medio de una entrevista estructurada.

4.1.1 Observación Directa

Esta técnica se basó en la presencia del investigador en el lugar de los hechos. Con ella se encontraron las condiciones de la empresa y cómo se estaba llevando a cabo el proceso de embalaje (ver figuras de la 8 a la 10). También se conoció el lugar en donde se planeaba colocar el horno, lo que permitió conocer las características del entorno para así realizar un diseño acorde. Toda la información del proceso y del entorno quedó registrada en un diario de campo (ver apéndice C).



Figura 8. Lugar donde se ubicará el horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)



Figura 9. Condición actual de los embalajes.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)



Figura 10. Embalaje de bebidas deseado.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

4.1.2 Entrevista Estructurada

Esta técnica se basó en obtener información por medio del diálogo entre dos personas. Para obtener los datos necesarios sobre el tema, se realizó una guía de preguntas conformada por nueve (9) preguntas que reflejaban temas sobre calidad, eficiencia, costos, tiempo, material y volumen. La entrevista fue realizada a la persona encargada del proyecto de embalaje, mediante el desarrollo de sus respuestas se obtuvo la información sobre el proceso de embalaje y las condiciones de la

empresa. Posteriormente se analizan las respuestas para categorizar los datos, tanto la problemática como los parámetros de diseño. Las herramientas que se utilizaron para hacer el análisis fueron la matriz FODA y el diagrama causa-efecto.

Cuadro 1. Preguntas y respuestas de la entrevista.

RESULTADO DE LA ENTREVISTA		
N°	PREGUNTA	RESPUESTA
1	¿En qué forma funciona el actual proceso de embalaje en la empresa?	Actualmente embalamos los productos colocando cartón arriba y abajo del envase para luego cubrirlo con film plástico o se guardan en una bolsa.
2	¿Qué manifiestan los compradores ante la mala presentación del producto?	Los de más confianza no presentan tantas disconformidades, pero en general los mayores inconvenientes que resultan tienen que ver con el almacenamiento.
3	¿Qué consecuencias puede ocasionar un mal embalaje de producto?	Por experiencia lo más común es que se producen caídas de envases al almacenarlos, también se dañan las etiquetas de los envases cuando se mueve mucho el embalaje o por contaminación externa.
4	¿Con qué finalidad se planteó la idea de implementar un sistema de termocontracción?	Esta se plantea debido a que es un sistema muy eficiente que disminuye las pérdidas de productos y también permite un uso más eficiente del personal.
5	¿En su opinión, cómo funcionan los tiempos de embalaje?	En estos momentos armar un solo paquete requiere de dos personas que hacen aproximadamente 50 empaques por hora.
6	¿Cómo son los costos en el sistema de embalaje?	Sumando el costo de materiales más la mano de obra necesaria, el sistema cuesta aproximadamente el 15% del costo del producto.
7	¿Cuál es el material del producto que se desea embalar?	Los productos más utilizados y de mayor tamaño son envases de PET, pero también trabajamos con bebidas enlatadas.
8	¿Qué cantidad de productos se desea embalar a la vez?	De acuerdo al producto los embalajes son de 3x2, 3x3, 4x2 y 4x3.

Continuación Cuadro 1. Preguntas y respuestas de la entrevista.

9	¿Qué dimensiones tiene el producto a embalar?	Los envases que usamos son de ½ lts con una altura de 24 cm y diámetro de 6 cm, de 1 lts con una altura de 30 cm y un diámetro de 8 cm y de 2 lts con una altura de 33 cm con un diámetro de 9 cm.
----------	--	--

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

➤ **Matriz FODA**

Esta herramienta permitió hacer un diagnóstico de una situación puntual en un momento determinado del tiempo. La matriz representativa de aplicar el proceso de embalaje presentado en esta investigación se puede ver en el cuadro 2.

Cuadro 2. Matriz FODA.

	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil adaptación a nuevas tecnologías. • Aparición de nuevos clientes. • Posibilitar pedidos de mayor tamaño. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inestabilidad económica. • Fallas eléctricas ocasionales. • Problemas en el suministro de materia prima.
FORTALEZAS	Estrategias FO	Estrategias FA
<ul style="list-style-type: none"> • Buena infraestructura. • Producción más barata. • Mayor calidad de embalaje. 	Fortalecer la infraestructura existente para aprovechar la producción más barata y la calidad superior del embalaje, maximizando así la ventaja competitiva.	Diversificar las fuentes de suministro de materia prima para mitigar los problemas en el suministro y compensar la inestabilidad económica, asegurando un flujo constante de materiales para la producción.
DEBILIDADES	Estrategias DO	Estrategias DA
<ul style="list-style-type: none"> • Coste inicial alto. • Incapacidad de responder ante una falla eléctrica. • Empleados no capacitados. 	Desarrollar programas de capacitación para los empleados y garantizar una respuesta efectiva ante fallas eléctricas.	Adquirir una planta eléctrica para así reducir la vulnerabilidad a las fallas eléctricas ocasionales, protegiendo así la continuidad operativa y la calidad del producto final.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

➤ Diagrama Causa-efecto (Ishikawa)

Esta herramienta permitió organizar grandes cantidades de información sobre un problema y determinar exactamente las posibles causas. A la hora de diagnosticar la causa de un problema, un diagrama de causa-efecto ayuda a organizar varias teorías sobre las causas fundamentales y las presenta gráficamente. Por consiguiente, mediante el uso de esta herramienta fue posible observar todo lo que conlleva el efecto principal del problema de estudio, los embalajes de mala calidad. El diagrama de Ishikawa que muestra el problema del embalaje actual y sus causas se muestra en la figura 11.

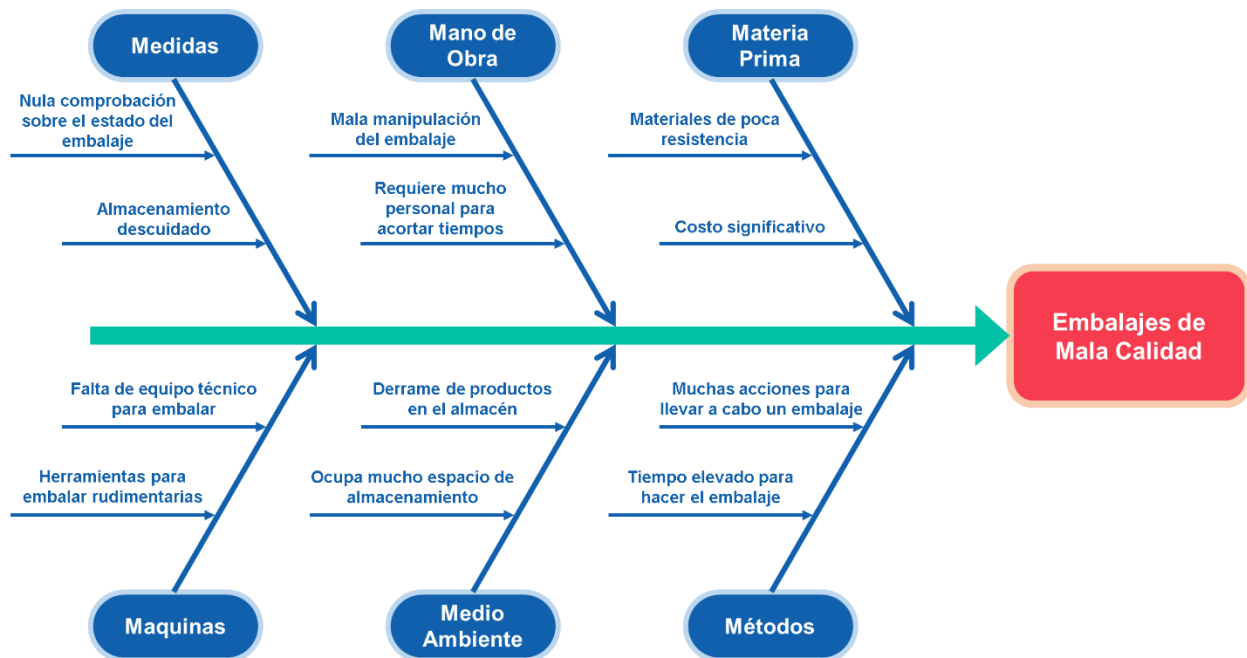


Figura 11. Diagrama causa-efecto (Ishikawa).

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

4.2 Analizar el Tipo de Productos a los cuales se van a Realizar el Embalaje

El desarrollo para lograr este objetivo fue de gran importancia debido a que permitió definir los parámetros con los que se debe diseñar el horno. En esta sección se mostraron tanto las propiedades de los productos a embalar como la dimensión del embalaje. Además, se realizó un análisis de las propiedades de los plásticos más utilizados para hacer los embalajes y así seleccionar la mejor opción. Para conseguir los datos y ecuaciones que se mostraron más adelante, se utilizó la técnica de revisión bibliográfica mediante el uso de libros, trabajos de grado y páginas de internet.

4.2.1 Propiedades del Material de los Productos

Como se mencionó anteriormente, los productos a los cuales se les va a realizar el embalaje son envases de PET. El polietileno tereftalato (PET) es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad, tiene una alta producción con diversas aplicaciones. La naturaleza semicristalina de este poliéster permite obtener una gran variedad de propiedades tanto físicas como mecánicas, estas propiedades y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas. Este presenta como características más relevantes:

- Alta transparencia, aunque admite cargas de colorantes.
- Alta estabilidad dimensional con una temperatura de trabajo desde los -60 °C hasta 150 °C.
- Alta resistencia química y buenas propiedades térmicas, posee una gran indeformabilidad al calor.
- Muy buena barrera contra el CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad.
- Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos.
- Reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad con la historia térmica.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.

Las características técnicas del PET se pueden ver en la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades físicas y térmicas del PET.

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	kg/m ³	1340 – 1390
Resistencia a la tensión	MPa	59 – 72
Resistencia a la compresión	MPa	76 – 128
Resistencia al impacto (Izod)	kJ/m	0.01 – 0.04
Dureza	--	Rockwell M94 – M101
Dilatación térmica	10 ⁻⁴ / °C	15.2 – 24
Resistencia al calor	°C	80 – 120
Resistencia dieléctrica	kV/m	13780 – 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	--	3.65

Continuación Tabla 1. Propiedades físicas y térmicas del PET.

Absorción de agua (24 h)	%	0.02
Efecto luz solar	--	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254
Punto de reblandamiento (Vicat)	°C	170

Fuente: Industrial Plastics. Richardson, T. y Lokensgard, E. (1999)

En la tabla 1 se observan varias propiedades importantes del PET de entre las cuales para el propósito de la investigación destaca la temperatura de reblandamiento, esta refleja el punto de ablandamiento cuando un material se utiliza en una aplicación de temperatura elevada. El punto Vicat indica el límite donde el material, sin ser sometido a una tensión apreciable, pierde su naturaleza de estado sólido, es decir, se ablanda. Esto marca un límite a la temperatura que puede aguantar el producto sin sufrir daños.

Por lo tanto un parámetro vital para que el horno no dañe los productos que pasan por él es el de tener una temperatura de trabajo que sea inferior a los 170 °C, si además se añade que tiene una gran estabilidad dimensional hasta los 150 °C se puede encontrar que el material no va a tener ningún problema si el horno trabaja a una temperatura inferior a los 150 °C.

4.2.2 Dimensiones de los Productos Embalados

Para determinar las dimensiones del paquete se consideran los envases a embalar y los arreglos en los que se encuentren, en la tabla 2 se aprecian las dimensiones de estos.

Tabla 2. Dimensiones del embalaje de acuerdo al envase.

DESCRIPCIÓN	ARREGLO	DIMENSIONES (mm) AnchoxLargoxAltura
Envase de ½ litro	3x2	180x120x220
	3x3	180x180x220
	4x3	240x180x220
Envase de 1 litro	3x2	240x160x300
	4x2	320x160x300
	3x3	240x240x300
Envase de 2 litros	3x2	270x180x330

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Como se observa los arreglos hacen que el embalaje tenga distintos tamaños, para efectos de cálculo lo mejor es considerar que hay un embalaje que cumple con las dimensiones de mayor valor que aparecen en la tabla. Por lo tanto el embalaje de mayor tamaño que puede pasar por el horno tiene como dimensiones 320x240x330 todo en milímetros (ver figura 12).

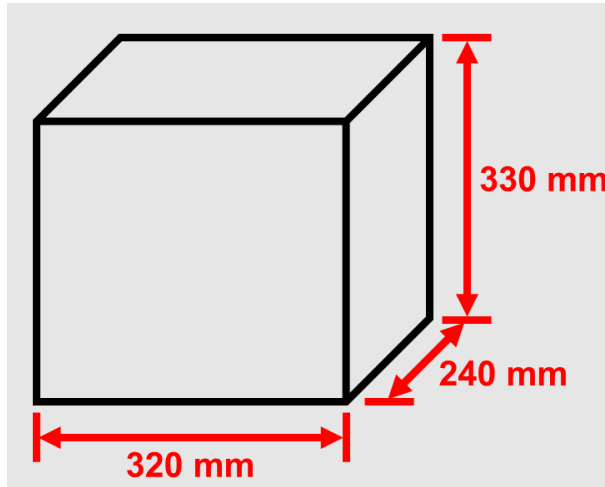


Figura 12. Dimensiones máximas de embalaje.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

4.2.3 Selección del Material a Embalar

Los materiales que se utilizan para realizar los embalajes se mostraron en la sección 2.2.7.1, estos al ser calentados aumentan la energía de sus moléculas y se reducen las fuerzas de atracción entre ellas, de esta forma se vuelven más deformables o plásticos y una vez enfriados recuperan sus propiedades mecánicas. En el cuadro 3 se muestran las características más importantes de las películas más empleadas.

Cuadro 3. Características de las películas termoencogibles.

Característica	Película Termoencogible			
	PVC	Poliolefina Económica	Poliolefina de Alta Calidad	Polietileno
Transparencia	Excelente	Buena	Buena	Regular
Textura	Rugosa	Suave, Flexible	Suave, Flexible	Suave, Flexible
Para Contacto Directo con Alimentos	No	Sí	Sí	No
Temperatura de Encogimiento (°C)	90-120	120-180	120-180	110-130
Tiempo de Encogimiento	Entre 3 y 5 segundos	Entre 5 y 8 segundos	Entre 5 y 8 segundos	Entre 8 y 12 segundos

Continuación Cuadro 3. Características de las películas termoencogibles.

Encogimiento	35% del largo de la película y 50% del ancho	67% del largo de la película y 64% del ancho	80% de la película en todas las direcciones	15 - 20% de la película en todas las direcciones
Resistencia a Perforaciones	Regular	Buena	Excelente	Excelente
Uso Sugerido	Libros, Juegos, Artículos de Oficina	Juguetes, Canastas de Regalos, Papelería	Velas, Jabones, Frascos de Medicina	Productos Envasados, Paquetes de Agua

Fuente: Uline (s.f), americasmaquinaria (s.f) y Mayancela (2004)

Con lo expresado anteriormente y los datos que aparecen en el cuadro 3, se va a utilizar el método de ponderación de criterios (Vilchez, s.f., p.64) para seleccionar la película más adecuada.

4.2.3.1 Aplicación de las Restricciones a las Probables Soluciones

En este método se comparan las posibles soluciones en relación a las restricciones que tenga el proyecto, solo las posibles soluciones que cumplan con todas las restricciones impuestas se pueden convertir en soluciones concretas al problema. Las probables soluciones (PS)_n son:

- (PS)₁: Película de PVC.
- (PS)₂: Película de poliolefina económica.
- (PS)₃: Película de poliolefina de alta calidad.
- (PS)₄: Película de polietileno.

Las restricciones (R_n) serán:

- R₁: Temperatura de encogimiento inferior a 150 °C.
- R₂: Fácil acceso en Venezuela.
- R₃: Producto fácil de utilizar.
- R₄: Resistente a las perforaciones.

Cuadro 4. Probables soluciones con respecto a las restricciones (película).

		Probables Soluciones			
		(PS) ₁	(PS) ₂	(PS) ₃	(PS) ₄
Restricciones	R ₁	SI	SI	SI	SI
	R ₂	SI	SI	NO	SI
	R ₃	SI	SI	SI	SI
	R ₄	SI	SI	SI	SI

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

4.2.3.2 Ponderación de Criterios

Ahora bien, para realizar la selección de la película se van a utilizar una serie de criterios para poder dar relevancia a los aspectos que destacan de las películas, estos criterios se toman en cuenta por medio de una escala numérica donde se le asigna un valor a cada criterio y se comparan los unos con los otros para así poder encontrar los criterios más importantes a tener en cuenta en la selección del material. Para este caso utilizando una escala del 1 al 6 siendo 1 un criterio con poca importancia y 6 con mucha importancia. Los criterios escogidos (C_n) y sus ponderaciones $(PC)_n$ serán:

- C_1 : Menor costo. $\rightarrow (PC)_1 = 6$
- C_2 : Menor temperatura de encogimiento. $\rightarrow (PC)_2 = 2$
- C_3 : Capacidad de ser reciclado. $\rightarrow (PC)_3 = 5$
- C_4 : Mayor retracción. $\rightarrow (PC)_4 = 2$
- C_5 : Mejor textura. $\rightarrow (PC)_5 = 3$
- C_6 : Resistencia a las perforaciones. $\rightarrow (PC)_6 = 3$

La comprobación lógica de estas ponderaciones se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Comprobación lógica de los criterios (película).

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	N° de veces	$(PC)_x$
C_1							5	6
C_2	C_1						1	2
C_3	C_1	C_3					4	5
C_4	C_1	C_2	C_3				1	2
C_5	C_1	C_5	C_3	C_5			2	3
C_6	C_1	C_6	C_3	C_4	C_6		2	3
Orden de Importancia	1ero	5to	2do	5to	3ero	3ero		

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

4.2.3.3 Ponderación de Soluciones Respecto a Cada Criterio

En este inciso se relacionan los dos anteriores para así poder obtener valores numéricos para cada solución. De acuerdo a la sección 4.2.3.1 las soluciones (S_n) serán:

- S_1 : Película de PVC.
- S_2 : Película de poliolefina económica.
- S_3 : Película de polietileno.

La ponderación que tendrá cada solución respecto a cada criterio (P_{pk}) se mostrara en las tablas de la 4 a la 9 donde se aplica un procedimiento similar al visto en la sección anterior.

Tabla 4. Soluciones con respecto al criterio 1 (película).

C_1	S_1	S_2	S_3	N° de veces	$P_{x1} = N$
S_1				1	$P_{11} = 2$
S_2	S_1			0	$P_{21} = 1$
S_3	S_3	S_3		2	$P_{31} = 3$
Orden de Aceptación	2do	3ero	1ero		

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Tabla 5. Soluciones con respecto al criterio 2 (película).

C_2	S_1	S_2	S_3	N° de veces	$P_{x2} = N$
S_1				2	$P_{12} = 3$
S_2	S_1			0	$P_{22} = 1$
S_3	S_1	S_3		1	$P_{32} = 2$
Orden de Aceptación	1ero	3ero	2do		

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Tabla 6. Soluciones con respecto al criterio 3 (película).

C_3	S_1	S_2	S_3	N° de veces	$P_{x3} = N$
S_1				0	$P_{13} = 1$
S_2	S_2			1	$P_{23} = 2$
S_3	S_3	S_3		2	$P_{33} = 3$
Orden de Aceptación	3ero	2do	1ero		

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Tabla 7. Soluciones con respecto al criterio 4 (película).

C₄	S₁	S₂	S₃	N° de veces	P_{x4} = N
S₁				1	P₁₄ = 2
S₂	S₂			2	P₂₄ = 3
S₃	S₁	S₂		0	P₃₄ = 1
Orden de Aceptación	2do	1ero	3ero		

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Tabla 8. Soluciones con respecto al criterio 5 (película).

C₅	S₁	S₂	S₃	N° de veces	P_{x5} = N
S₁				0	P₁₅ = 1
S₂	S₂			2	P₂₅ = 3
S₃	S₃	S₂		1	P₃₅ = 2
Orden de Aceptación	3ero	1ero	2do		

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Tabla 9. Soluciones con respecto al criterio 6 (película).

C₆	S₁	S₂	S₃	N° de veces	P_{x6} = N
S₁				0	P₁₆ = 1
S₂	S₂			1	P₂₆ = 2
S₃	S₃	S₃		2	P₃₆ = 3
Orden de Aceptación	3ero	2do	1ero		

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

4.2.3.4 Ponderación Final

Este es el último paso para obtener el mejor material de acuerdo a las necesidades propuestas, para hacer la ponderación final se utiliza una fórmula que relaciona la ponderación de cada criterio con cada solución dando al final un valor numérico, la solución que tenga el número mayor será la solución que más cumple con los criterios dados y por lo tanto será la que mejor

rendimiento ofrezca. En la tabla 10 se colocará el valor de cada solución respecto a la ponderación de los criterios.

Tabla 10. Valor final de cada solución (película).

PC_x	P_{1x}	$PC_x \cdot P_{1x}$	P_{2x}	$PC_x \cdot P_{2x}$	P_{3x}	$PC_x \cdot P_{3x}$
PC_1	P_{11}	$PC_1 \cdot P_{11} = 12$	P_{21}	$PC_1 \cdot P_{21} = 6$	P_{31}	$PC_1 \cdot P_{31} = 18$
PC_2	P_{12}	$PC_2 \cdot P_{12} = 6$	P_{22}	$PC_2 \cdot P_{22} = 2$	P_{32}	$PC_2 \cdot P_{32} = 4$
PC_3	P_{13}	$PC_3 \cdot P_{13} = 5$	P_{23}	$PC_3 \cdot P_{23} = 10$	P_{33}	$PC_3 \cdot P_{33} = 15$
PC_4	P_{14}	$PC_4 \cdot P_{14} = 4$	P_{24}	$PC_4 \cdot P_{24} = 6$	P_{34}	$PC_4 \cdot P_{34} = 2$
PC_5	P_{15}	$PC_5 \cdot P_{15} = 3$	P_{25}	$PC_5 \cdot P_{25} = 9$	P_{35}	$PC_5 \cdot P_{35} = 6$
PC_6	P_{16}	$PC_6 \cdot P_{16} = 3$	P_{26}	$PC_6 \cdot P_{26} = 6$	P_{36}	$PC_6 \cdot P_{36} = 9$
		$\sum (PC_x \cdot P_{1x}) = 33$			$\sum (PC_x \cdot P_{2x}) = 39$	$\sum (PC_x \cdot P_{3x}) = 54$

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Observando los valores obtenidos en la tabla 10 se concluye que la solución que mejor se adapta a los requerimientos necesarios es la solución 3 la cual es utilizar la película de polietileno termoencogible.

4.3 Análisis Térmicos y Estructurales del Horno, Calcular y Seleccionar sus Partes Mecánicas y Diseñar el Sistema Modelando sus Partes Críticas, Utilizando Software de Ingeniería

4.3.1 Consideraciones de Diseño y Especificaciones

Tomando en cuenta que se quiere un diseño de equipo que se ajuste a las necesidades de la empresa se estableció un modelo en el cual se consideraron los siguientes parámetros:

4.3.1.1 Producción Requerida en N° de Paquetes por Minuto

Uno de los parámetros más importantes de este tipo de equipos es la cantidad de paquetes que entrega por cada minuto, la cantidad es muy variada pero es común encontrar equipos con capacidades superiores a los 30 paquetes por minuto capacidad que en el caso particular de la empresa es muy alta. Analizando la producción que tiene la fábrica se estableció el rango de entre 5 a 12 paquetes por minuto (ver apéndice C). Luego de haber establecido este rango para el diseño del túnel se considera la máxima capacidad solicitada para así asegurar un buen funcionamiento, entonces se tendrán 12 paquetes por minuto que es la capacidad que el túnel tendrá finalmente.

4.3.1.2 Velocidad de Transportación

El rango típico de velocidades de transportación de equipos recomendada es menor o igual que 10 m/min (Zambrano, 2007, p.12). Para determinar la velocidad de transportación se basará en el requerimiento de paquetes/minuto que se mencionó anteriormente. Uno de los aspectos importantes para un adecuado embalaje con termoencogible es que el fluido caliente (aire) envuelva todo el conjunto o paquete por esta razón se considera un espaciamiento entre paquete de 10 cm. Considerando que el largo máximo de los paquetes es de 24 cm más el espaciamiento entre los paquetes se tiene una longitud total de 34 cm/paquete = 0,34 m/paquete, entonces la velocidad será:

$$V = P \cdot L \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

V = Velocidad de sistema de transportación [m/min].

P = Producción requerida [paquete/min].

L = Longitud del paquete [m/paquete].

Entonces:

$$V = (12 \text{ paquete/min})(0,34 \text{ m/paquete}) \rightarrow V = 4,08 \text{ m/min} = 0,068 \text{ m/s}$$

La velocidad que se utilizara para el cálculo del túnel de termocontracción será de 4,1 m/min = 0,07 m/s.

4.3.1.3 Dimensiones del Horno de Termocontracción

Para determinar tanto la capacidad como la longitud del túnel de termocontracción se tomaran en cuenta las medidas más significativas de los distintos arreglos del producto que se establecieron anteriormente con un ancho de 320 mm, un largo de 240 mm y una altura de 330 mm.

➤ **Altura del Túnel**

Dado que la altura máxima de la botella utilizada en este túnel es de 330 mm, se adoptará un espacio adicional de 70 mm resultando una altura de 400 mm, además hay que tener en cuenta el espacio en donde se ubicarán los ventiladores y las resistencias, el espacio ocupado por estos es inferior a 5 pulgadas por lo que resulta una altura total del túnel de 520 mm. Esta medida se toma desde la ubicación de la botella en la cadena transportadora hasta la parte interna del techo del túnel.

➤ **Ancho del Túnel**

El ancho del túnel se determinará con base en el diámetro del paquete de mayores dimensiones, el cual es de 320mm y según el espacio por donde va a fluir el aire hacia el embalaje. Se establecerá un espaciamiento de 90 mm por lado del embalaje para que este espaciamiento permita a los operarios tener una mayor libertad al colocar las botellas sobre la cinta transportadora. El espacio por donde va a fluir el aire hacia el embalaje será de 100 mm por lado. En consecuencia se fijará un ancho de túnel de 700 mm para asegurar un correcto paso de los paquetes.

➤ **Longitud del Túnel**

Para determinar la longitud del túnel de termocontracción se considerarán dos parámetros clave: la velocidad de transportación requerida y el tiempo necesario para lograr la contracción total de la película. La velocidad de transportación requerida se ha establecido en 4,1 m/min. Esto significa que la película debe ser transportada a través del túnel a esta velocidad específica para lograr un proceso de termocontracción eficiente.

El tiempo promedio de exposición al calor del polietileno a un rango de temperatura de 110 a 130 °C es de 8 a 12 segundos (ver cuadro 3), de este rango puede variar de acuerdo al proceso por el que paso la bobina, también una bobina con material reciclable puede necesitar un tiempo mayor a una con material virgen, por lo tanto se escogerá un tiempo de 20 segundos para así asegurar que la película tendrá una contracción completa:

$$L = \frac{V \cdot t}{60} \tag{Ec. 2}$$

Donde:

L = Longitud del túnel [m].

V = Velocidad de sistema de transportación [m/min].

t = Tiempo promedio [s].

Entonces:

$$L = \frac{(4,1 \text{ m/min})(20 \text{ s})}{60} \rightarrow L = 1,36 \text{ m}$$

La longitud que se utilizara para el cálculo del túnel será de 1,4 m. En la figura 13 se puede observar un esquema de la boca de ingreso del horno.

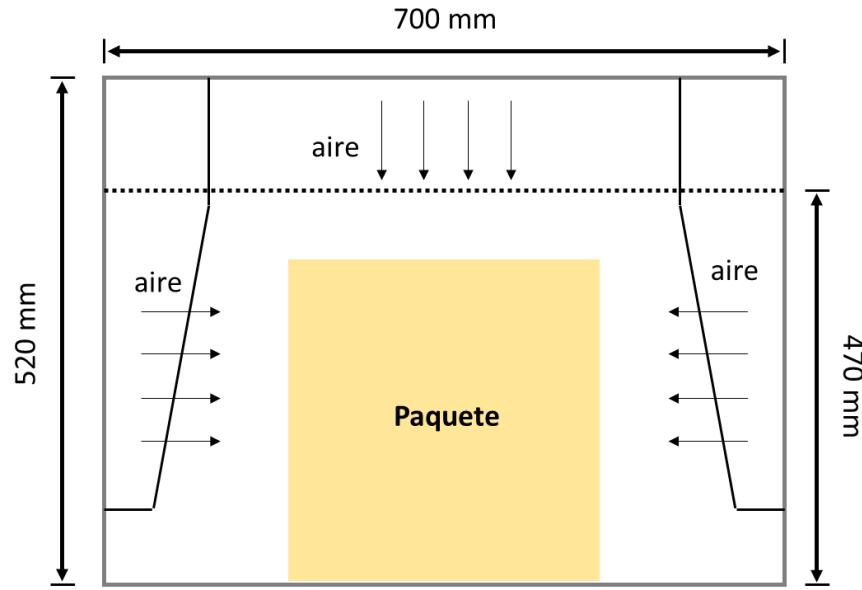


Figura 13. Esquema con vista frontal de la cámara interna del horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

4.3.2 Análisis Térmico del Horno

Para realizar el diseño del horno se van a tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Condiciones de estado estable; al ingreso todo el conjunto o paquete se encuentra en equilibrio térmico a temperatura ambiente (26 °C para el estado Carabobo).
- Forma geométrica de los componentes uniformes (envases cilíndricos para facilitar los cálculos y puesto que la sección cilíndrica del envase en contacto con el producto es más del 90%).
- Propiedades termo físicas constantes.

El balance energético de un horno varía fundamentalmente de un horno continuo a un horno intermitente. En los continuos interviene la producción en Kg/h, mientras que en los intermitentes es más importante la carga producida en cada operación en Kg o en t. La temperatura en los hornos continuos es prácticamente constante en cada zona a lo largo del tiempo, y la temperatura de la carga varía a lo largo del horno desde la entrada hasta la salida.

El consumo de energía de un proceso en un horno industrial es una de sus características principales. Se determina calculando los componentes del balance energético, cuando se trata del diseño de un horno. Para realizar el análisis térmico se tiene que cumplir el siguiente balance de energía:

$$E_{\text{carga}} + E_{\text{perdidas}} = E_{\text{sistema}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Al dividir el balance de energía de la ecuación 3 para un Δt se obtiene:

$$Q_{\text{paquete}} + Q_{\text{perdidas}} = Q_{\text{sistema}} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

E_{carga} = Energía de carga (W)

$E_{\text{pérdidas}}$ = Energía de pérdidas (W)

E_{sistema} = Energía del sistemas (W)

Q_{paquete} = Potencia del paquete (W)

$Q_{\text{pérdidas}}$ = Potencia de pérdidas (W)

Q_{sistema} = Potencia del sistema (W)

4.3.2.1 Calor Entregado al Paquete

Dado que en ausencia de cualquier interacción de trabajo la energía necesaria para calentar el paquete, si el paquete entra a temperatura ambiente a la cámara de contracción el calor útil requerido para calentar cada componente de la carga, que entra al horno será:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p (T_s - T_e) \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

\dot{m} = Flujo de masa del Componente [kg/s]

C_p = Calor Especifico [J/kg-K]

T_s = Temperatura de Salida [K]

T_e = Temperatura de Entrada [K]

A partir de este momento se realizará el cálculo de energía que requiere el paquete tomando en cuenta el paquete de mayor tamaño asumiendo que el líquido contenido es agua (el de envase de 1 litro con arreglo 3x3 y dimensiones de 240x240x300 mm).

Para el cálculo de la energía requerida se tomará en cuenta los productos que intervienen en el análisis como son:

- Termoencogible (polietileno).
- Envase (pet).
- Producto líquido (agua).

La temperatura ambiente previa al ingreso a la cámara de cada componente del paquete basado a la temperatura promedio de Carabobo que es de 26 °C. Por lo tanto las temperaturas de entrada serán:

$$T_{\text{agua}} = 26 \text{ }^{\circ}\text{C} = 299,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{envase}} = 26 \text{ }^{\circ}\text{C} = 299,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{película}} = 26 \text{ }^{\circ}\text{C} = 299,15 \text{ K}$$

Conocidas las dimensiones de los elementos que forman el paquete y sobre todo la densidad de cada componente se puede determinar la masa de cada uno de ellos, para ello se tienen los siguientes datos:

- **Película Termoencogible**

El largo de la película debe cubrir sus cuatro caras, esto será:

$$\text{Largo} = 2(240 \text{ mm}) + 2(300 \text{ mm}) \rightarrow \text{Largo} = 1080 \text{ mm} = 108 \text{ cm}$$

De acuerdo al anexo A se tiene:

$$\text{Espesor} = 70 \text{ micras} = 0,007 \text{ cm}$$

$$\text{Ancho} = 400 \text{ mm} = 40 \text{ cm}$$

$$\text{Densidad del polietileno} = 0,92 \text{ g/cm}^3$$

$$m = \rho \cdot V \tag{Ec. 6}$$

Donde:

m = Masa de la película de polietileno [g].

ρ = Densidad de la película [g/cm^3].

V = Volumen del paquete [cm^3].

Entonces:

$$m = (0,92 \text{ g/cm}^3)(108 \text{ cm} \cdot 40 \text{ cm} \cdot 0,007 \text{ cm}) = 27,82 \text{ g/paquete} = 0,02782 \text{ kg/paquete}$$

Para determinar el flujo másico se tiene la producción requerida que es de 12 paquetes/minuto, entonces:

$$\dot{m} = m \cdot P \tag{Ec. 7}$$

Donde:

\dot{m} = Flujo másico [kg/s]

m = Masa [kg]

P = Producción [paquetes /min]

Sustituyendo:

$$\dot{m} = (0,02782 \text{ kg/paquete})(12 \text{ paquetes/min}) \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \rightarrow \dot{m} = 0,0056 \text{ kg/s}$$

- **Envase de PET**

Espesor = 1 mm = 0,1 cm

Altura = 30 cm

Diametro = 8 cm

Densidad del PET = 1,34 g/cm³ (tabla 1)

Por la ecuación 6 para 9 botellas se tiene:

$$m = (1,34 \text{ g/cm}^3)(\pi \cdot 8 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm} \cdot 0,1 \text{ cm}) \cdot 9 = 909,3 \text{ g/paquete} = 0,9093 \text{ kg/paquete}$$

Por la ecuación 7 para 12 paquetes/minuto se tiene:

$$\dot{m} = (0,9093 \text{ kg/paquete})(12 \text{ paquetes/min}) \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \rightarrow \dot{m} = 0,182 \text{ kg/s}$$

- **Producto Líquido (Agua)**

En este caso la mayor masa posible viene en el arreglo 3x2 para 6 botellas de 2 litro. Con una densidad de agua = 997 kg/m³ (anexo C) se tiene por la ecuación 6:

$$m = (997 \text{ kg/m}^3)(2 \text{ l}) \cdot 6 \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 11,964 \text{ kg/paquete}$$

Por la ecuación 7 para 12 paquetes/minuto se tiene:

$$\dot{m} = (11,964 \text{ kg/paquete})(12 \text{ paquetes/min}) \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \rightarrow \dot{m} = 2,4 \text{ kg/s}$$

4.3.2.2 Determinación de la Temperatura de Salida

Considerando la temperatura del horno y el flujo de carga constante en el funcionamiento del horno debe verificarse que:

$$Q_{\text{convección,conducción}} = Q_{\text{almacenado}} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde al colocar la ecuación 8 en función de la temperatura se convierte en:

$$\left(T_{\text{horno}} - \frac{T_s + T_e}{2} \right) \cdot U \cdot A = \dot{m} \cdot C_p (T_s - T_e) \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

\dot{m} = Flujo de masa del Componente [kg/s]

C_p = Calor Especifico [J/kg-K]

T_s = Temperatura de Salida [K]

T_e = Temperatura de Entrada [K]

T_{horno} = Temperatura del horno [K]

A = Área de transferencia [m²]

U = Coeficiente Global de transferencia de calor [$W/m^2 \cdot K$]

Con el planteamiento de la ecuación 9 se puede determinar la temperatura de salida de cada elemento del paquete. El coeficiente global de transferencia de calor se denomina de la siguiente manera:

$$U = \frac{1}{R_{total}} \quad (Ec. 10)$$

Donde R_{total} representa todas las resistencias térmicas que actúan sobre el paquete, para este caso ocurre convección y conducción sobre la película y en el envase ocurre conducción, entonces:

$$R_{total} = \frac{1}{h} + \frac{e}{k_{pelicula}} + \frac{\ln(r_e/r_i)}{2 \cdot \pi \cdot k_{envase} \cdot L} \quad (Ec. 11)$$

Uniendo las ecuaciones 10 y 11 se obtiene:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h} + \frac{e}{k_{pelicula}} + \frac{\ln(r_e/r_i)}{2 \cdot \pi \cdot k_{envase} \cdot L}} \quad (Ec. 12)$$

Donde:

r_e = Radio externo del envase [cm] = 8 cm

r_i = Radio interno del envase [cm] = 7,9 cm

L = Altura del envase [m] = 30 cm = 0,3 m

$k_{pelicula}$ = Conductividad térmica de la película [$W/m \cdot K$]

k_{envase} = Conductividad térmica del envase [$W/m \cdot K$]

h = Constante de proporcionalidad por convección [$W \cdot m^2/K$]

e = Espesor [m] = 1 mm = 0,001 m

Como la temperatura del termoplástico a la salida del túnel será a la temperatura de contracción que en este caso asumiremos que es de 130 °C, se puede conocer la temperatura del horno despejando de la ecuación 9 para el polietileno:

$$T_{horno} = \frac{\dot{m}_{pe} \cdot C_{ppe} (T_{spe} - T_{epe})}{U \cdot A_{pe}} + \frac{T_{spe} + T_{epe}}{2} \quad (Ec. 13)$$

Para determinar la temperatura del horno es necesario conocer el coeficiente de transferencia de calor para lo cual se requiere los valores numéricos de las propiedades físicas del material termoencogible y del envase. Del anexo B se tiene $k_{pelicula} = 0,43 W/m \cdot K$ y $k_{envase} = 0,25 W/m \cdot K$.

La constante de proporcionalidad por convección se puede obtener por medio del número de Nusselt mediante:

$$h = \frac{K \cdot Nu}{L} \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

L = Longitud vertical del envase [m] = 0,3 m

K = Conductividad térmica del aire [W/m-K]

h = Constante de proporcionalidad por convección [W-m²/K]

Se puede determinar el número promedio de Nusselt sobre la superficie completa con base en la correlación propuesta por Churchill y Chu la cual está en función del número de Rayleigh y el número de Prandtl:

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387Ra^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (\text{Ec. 15})$$

Para calcular el número de Rayleigh primero hay que conocer el número de Grashof, el de Prandtl se conoce con las propiedades del fluido de trabajo, este debe estar a una temperatura de 130 °C, de acuerdo al anexo D interpolando se tiene:

Número de Prandtl: Pr = 0,7057

Conductividad térmica: K = 0,03305 W/m-K

Viscosidad cinemática: $\nu = 2,634 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

El número de Grashof se calcula mediante:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot (T_{\text{wall}} - T_{\infty})}{\nu^2} \quad (\text{Ec. 16})$$

Donde:

β = Coeficiente de expansión térmica [°C⁻¹]

T_{wall} = Temperatura de la superficie [°C] = 130 °C

T_∞ = Temperatura fuera del fluido (ambiente) [°C] = 26 °C

g = Aceleración de la gravedad [m/s²] = 9,81 m/s²

L = Longitud vertical del horno [m] = 520 mm = 0,52 m

Para gases el coeficiente de expansión térmica se calcula mediante:

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde:

T_f = Temperatura de película [°C]

La temperatura de película se calcula mediante:

$$T_f = \frac{T_{\text{wall}} + T_{\infty}}{2} \quad (\text{Ec. 18})$$

Sustituyendo:

$$T_f = \frac{130 \text{ °C} + 26 \text{ °C}}{2} \rightarrow T_f = 78 \text{ °C}$$

Entonces utilizando la ecuación 17:

$$\beta = \frac{1}{78 \text{ °C}} \rightarrow \beta = 1,282 \times 10^{-2} \text{ °C}^{-1}$$

Ahora sustituyendo valores en la ecuación 16:

$$\text{Gr} = \frac{(9,81 \text{ m/s}^2)(1,282 \times 10^{-2} \text{ °C}^{-1})(0,52 \text{ m})^3(130 \text{ °C} - 26 \text{ °C})}{(2,634 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2} \rightarrow \text{Gr} = 2,65 \times 10^9$$

El número de Rayleigh se calcula mediante:

$$\text{Ra} = \text{Gr} \cdot \text{Pr} \quad (\text{Ec. 19})$$

Sustituyendo:

$$\text{Ra} = (2,65 \times 10^9)(0,7057) \rightarrow \text{Ra} = 1,87 \times 10^9$$

Con los valores conocidos del número de Rayleigh y el de Prandtl sustituyendo en la ecuación 15:

$$\text{Nu} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387(1,87 \times 10^9)^{1/6}}{[1 + (0,492/0,7057)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \rightarrow \text{Nu} = 149$$

Por lo tanto al sustituir en la ecuación 14, la constante de proporcionalidad por convección será:

$$h = \frac{(0,03305 \text{ W/m} \cdot \text{K})(149)}{0,3 \text{ m}} \rightarrow h = 16,41 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Ahora con todos los datos es posible calcular el coeficiente global de transferencia de calor mediante la ecuación 12:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{16,41} + \frac{0,001}{0,43} + \frac{\ln(8/7,9)}{2 \cdot \pi \cdot (0,25)(0,3)}} \rightarrow U = 11,12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Ahora para calcular la temperatura del horno con la ecuación 13 falta conocer el área de convección del polietileno, teniendo como datos del polietileno:

$$\dot{m}_{pe} = 0,0056 \text{ kg/s}$$

$$C_{ppe} = 1,92 \text{ kJ/kg-K} = 1920 \text{ J/kg-K (anexo B)}$$

$$T_{spe} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{epe} = 26 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$U = 11,12 \text{ W/m}^2\text{-K}$$

Su área de transferencia será:

$$A_{pe} = 2 \cdot \text{ancho}_{pe} \cdot \text{largo}_{pe} = 2(40 \text{ cm})(108 \text{ cm}) = 8640 \text{ cm}^2 = 0,864 \text{ m}^2$$

Sustituyendo valores:

$$T_{horno} = \frac{\dot{m}_{pe} \cdot C_{ppe} (T_{spe} - T_{epe})}{U \cdot A_{pe}} + \frac{T_{spe} + T_{epe}}{2}$$

$$T_{horno} = \frac{(0,0056)(1920)(130 - 26)}{(11,12)(0,864)} + \frac{130 + 26}{2} \rightarrow T_{horno} = 152,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ahora con la temperatura a la que estará el horno se pueden conocer la temperatura final del envase de PET y el líquido Despejando T_s de la ecuación 9:

$$T_s = \frac{2 \cdot U \cdot A \cdot T_{horno} + T_e(2 \cdot \dot{m} \cdot C_p - U \cdot A)}{2 \cdot \dot{m} \cdot C_p + U \cdot A} \quad (\text{Ec. 20})$$

Para el PET se conoce:

$$\dot{m}_{PET} = 0,182 \text{ kg/s}$$

$$C_{pPET} = 1300 \text{ J/kg-K (anexo B)}$$

$$T_{horno} = 152,8 \text{ }^\circ\text{C} = 425,95 \text{ K}$$

$$T_{ePET} = 26 \text{ }^\circ\text{C} = 299,15 \text{ K}$$

$$U = 11,12 \text{ W/m}^2\text{-K}$$

Su área de transferencia será:

$$A_{PET} = \pi \cdot D_{PET} \cdot h_{PET} \cdot N^{\circ}\text{envases} = \pi(8 \text{ cm})(30 \text{ cm})(9) = 6786 \text{ cm}^2 = 0,6786 \text{ m}^2$$

Sustituyendo valores:

$$T_{SPET} = \frac{2 \cdot U \cdot A_{PET} \cdot T_{horno} + T_{ePET}(2 \cdot \dot{m}_{PET} \cdot C_{pPET} - U \cdot A_{PET})}{2 \cdot \dot{m}_{PET} \cdot C_{pPET} + U \cdot A_{PET}}$$

$$T_{SPET} = \frac{2(11,12)(0,6786)(425,95) + (299,15)[2(0,182)(1300) - (11,12)(0,6786)]}{2(0,182)(1300) + (11,12)(0,6786)} = 303,15 \text{ K}$$

Para el agua se conoce:

$$\dot{m}_{agua} = 2,4 \text{ kg/s}$$

$$C_{\text{pagua}} = 4,22 \text{ kJ/kg-K} = 4220 \text{ J/kg-K (anexo C)}$$

$$T_{\text{horno}} = 152,8 \text{ }^\circ\text{C} = 425,95 \text{ K}$$

$$T_{\text{eagua}} = 26 \text{ }^\circ\text{C} = 299,15 \text{ K}$$

$$U = 11,12 \text{ W/m}^2\text{-K}$$

$$A_{\text{agua}} = A_{\text{PET}} = 0,6786 \text{ m}^2$$

Sustituyendo valores:

$$T_{\text{Sagua}} = \frac{2 \cdot U \cdot A_{\text{agua}} \cdot T_{\text{horno}} + T_{\text{eagua}} (2 \cdot \dot{m}_{\text{agua}} \cdot C_{\text{pagua}} - U \cdot A_{\text{agua}})}{2 \cdot \dot{m}_{\text{agua}} \cdot C_{\text{pagua}} + U \cdot A_{\text{agua}}}$$

$$T_{\text{Sagua}} = \frac{2(11,12)(0,6786)(425,95) + (299,15)[2(2,4)(4220) - (11,12)(0,6786)]}{2(2,4)(4220) + (11,12)(0,6786)} = 299,24 \text{ K}$$

Por lo tanto la temperatura de salida de cada componente que entra al horno será:

$$T_{\text{spe}} = 130 \text{ }^\circ\text{C} = 403,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{SPET}} = 30 \text{ }^\circ\text{C} = 303,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{Sagua}} = 26,09 \text{ }^\circ\text{C} = 299,24 \text{ K}$$

Ya con los valores de temperatura de salida es posible calcular el calor almacenado de cada componente mediante la ecuación 5:

$$Q_{\text{pelicula}} = \dot{m}_{\text{pe}} \cdot C_{\text{ppe}} (T_{\text{spe}} - T_{\text{epe}}) = (0,0056)(1920)(403,15 - 299,15) = 1119 \text{ W}$$

$$Q_{\text{envase}} = \dot{m}_{\text{PET}} \cdot C_{\text{ppET}} (T_{\text{SPET}} - T_{\text{ePET}}) = (0,182)(1300)(303,15 - 299,15) = 947 \text{ W}$$

$$Q_{\text{liquido}} = \dot{m}_{\text{agua}} \cdot C_{\text{pagua}} (T_{\text{Sagua}} - T_{\text{eagua}}) = (2,4)(4220)(299,24 - 299,15) = 988 \text{ W}$$

Por lo tanto el calor almacenado por el paquete será:

$$Q_{\text{paquete}} = Q_{\text{pelicula}} + Q_{\text{envase}} + Q_{\text{liquido}} = 1119 \text{ W} + 947 \text{ W} + 988 \text{ W} \rightarrow Q_{\text{paquete}} = 3054 \text{ W}$$

4.3.2.3 Determinación de Pérdidas por las Paredes

Las pérdidas de calor a través de las paredes planas, dependen fundamentalmente de las características de los materiales, considerando lo siguiente:

- Condiciones de estado estable.
- Conducción unidimensional.
- Intercambio de radiación entre el aire y la superficie de las paredes internas del túnel insignificante.
- Coeficiente convectivo constante y uniforme en el interior y exterior del horno.

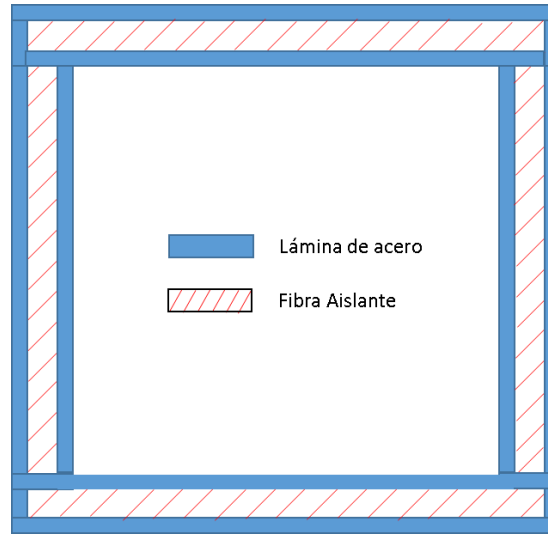


Figura 14. Vista frontal de la cámara.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Como se puede apreciar en la figura 14, las paredes del horno están compuestas por láminas internas de acero seguido de una capa de material aislante y por último otra lámina de acero que conecta con el exterior. Para este estudio se va a considerar:

- Las láminas interiores y exteriores hechas de acero inoxidable AISI 304 con un espesor de 2 mm.
- El material aislante será de fibra de vidrio con un espesor de 50 mm.

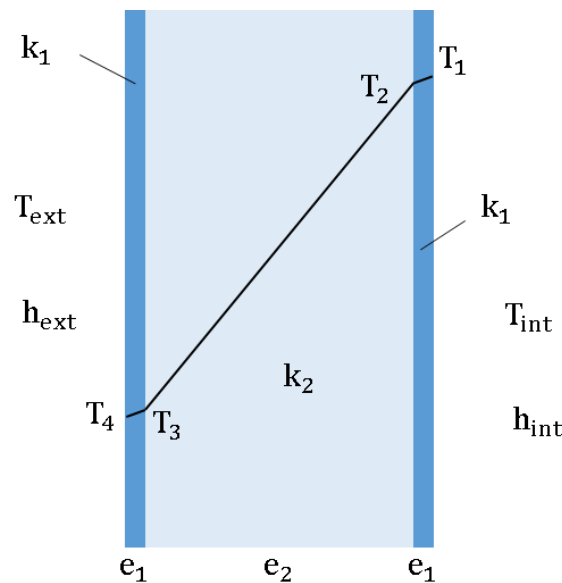


Figura 15. Pared compuesta de 3 capas.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Para conocer las resistencias que aparecen sobre la pared compuesta se plantea el circuito térmico equivalente en la figura 16.

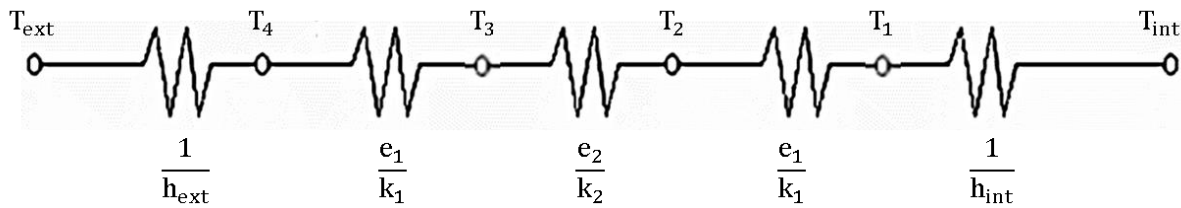


Figura 16. Circuito térmico equivalente para las paredes del horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Las pérdidas por unidad de superficie en las paredes se calculan mediante:

$$\frac{Q_{\text{paredes}}}{A} = \frac{\Delta T_i}{\sum R_i} \quad (\text{Ec. 21})$$

De la figura 16 se conoce que la temperatura interna será la temperatura del horno y la temperatura externa la del ambiente, para hallar el flujo de calor a través de las paredes se utiliza:

$$Q_{\text{paredes}} = \frac{A(T_{\text{int}} - T_4)}{\frac{1}{h_{\text{int}}} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_1}{k_1}} = \frac{A(T_{\text{int}} - T_4)}{\frac{1}{h_{\text{int}}} + 2\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2}} \quad (\text{Ec. 22})$$

Donde:

A = Superficie de la pared del horno [m^2]

T_{int} = Temperatura del horno [K] = 425,95 K

T_4 = Temperatura de la lámina exterior [K]

h_{int} = Constante de proporcionalidad por convección interna [$\text{W}\cdot\text{m}^2/\text{K}$]

e_1 = Espesor de la lámina de acero [m] = 2 mm = 0,002 m

e_2 = Espesor de la fibra de vidrio [m] = 50 mm = 0,05 m

k_1 = Conductividad térmica del acero [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$] = 14,9 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ (anexo E)

k_2 = Conductividad térmica de la fibra de vidrio [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$] = 0,035 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ (anexo F)

Para hallar las temperaturas entre cada pared se considera que el flujo de calor se mantiene constante a través de las paredes, entonces se plantean las siguientes ecuaciones para cada temperatura:

$$\begin{aligned}
\frac{Q'_{T_{\text{int}}-T_4}}{A} &= \frac{Q'_{T_4-T_{\text{ext}}}}{A} \\
\frac{Q'_{T_{\text{int}}-T_3}}{A} &= \frac{Q'_{T_3-T_4}}{A} \\
\frac{Q'_{T_{\text{int}}-T_2}}{A} &= \frac{Q'_{T_2-T_3}}{A} \\
\frac{Q'_{T_{\text{int}}-T_1}}{A} &= \frac{Q'_{T_1-T_2}}{A}
\end{aligned}
\tag{Ec. 23}$$

Ahora por medio de la ecuación 21 se puede encontrar la temperatura en cada tramo de la pared mediante las igualdades de la ecuación 23:

$$\frac{T_{\text{int}} - T_4}{\frac{1}{h_{\text{int}}} + 2\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2}} = \frac{T_4 - T_{\text{ext}}}{\frac{1}{h_{\text{ext}}}} \rightarrow T_4 = \frac{T_{\text{int}} \cdot \frac{1}{h_{\text{ext}}} + T_{\text{ext}} \cdot \left(\frac{1}{h_{\text{int}}} + 2\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2}\right)}{\frac{1}{h_{\text{int}}} + \frac{1}{h_{\text{ext}}} + 2\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2}}
\tag{Ec. 24}$$

$$\frac{T_{\text{int}} - T_3}{\frac{1}{h_{\text{int}}} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2}} = \frac{T_3 - T_4}{\frac{e_1}{k_1}} \rightarrow T_3 = \frac{T_{\text{int}} \cdot \frac{e_1}{k_1} + T_4 \cdot \left(\frac{1}{h_{\text{int}}} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2}\right)}{\frac{1}{h_{\text{int}}} + 2\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2}}
\tag{Ec. 25}$$

$$\frac{T_{\text{int}} - T_2}{\frac{1}{h_{\text{int}}} + \frac{e_1}{k_1}} = \frac{T_2 - T_3}{\frac{e_2}{k_2}} \rightarrow T_2 = \frac{T_{\text{int}} \cdot \frac{e_2}{k_2} + T_3 \cdot \left(\frac{1}{h_{\text{int}}} + \frac{e_1}{k_1}\right)}{\frac{1}{h_{\text{int}}} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2}}
\tag{Ec. 26}$$

$$\frac{T_{\text{int}} - T_1}{\frac{1}{h_{\text{int}}}} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{e_1}{k_1}} \rightarrow T_1 = \frac{T_{\text{int}} \cdot \frac{e_1}{k_1} + T_2 \cdot \frac{1}{h_{\text{int}}}}{\frac{1}{h_{\text{int}}} + \frac{e_1}{k_1}}
\tag{Ec. 27}$$

Para encontrar las temperaturas es necesario conocer el coeficiente convectivo por el interior y exterior de las paredes, primero se asumirán las temperaturas de las capas que componen la pared interna y externa del horno (T_1 y T_4) y luego si resultan valores muy alejados de lo supuesto se realizarán las correcciones de las propiedades que dependen de las temperaturas asumidas.

$$T_{\text{int}} = 425,95 \text{ K}$$

$$T_{\text{ext}} = 26 \text{ °C} = 299,15 \text{ K}$$

$$T_1 = 135 \text{ °C} = 408,15 \text{ K}$$

$$T_4 = 43 \text{ °C} = 316,15 \text{ K}$$

Para saber las propiedades del aire sobre la parte interna y externa del horno es necesario conocer la temperatura de película que se calcula usando la ecuación 18:

$$T_{f_{\text{int}}} = \frac{T_{\text{int}} + T_1}{2} = \frac{425,95 + 408,15}{2} \rightarrow T_{f_{\text{int}}} = 417,05 \text{ K}$$

$$T_{f_{\text{ext}}} = \frac{T_4 + T_{\text{ext}}}{2} = \frac{316,15 + 299,15}{2} \rightarrow T_{f_{\text{ext}}} = 307,65 \text{ K}$$

Para calcular los coeficientes convectivos se deben usar las ecuaciones 14, 15, 16, 17 y 19.

- Parte interna:

De acuerdo al anexo D para 417,05 K interpolando se tiene:

Número de Prandtl: $Pr = 0,7036$

Conductividad térmica: $K = 0,03401 \text{ W/m-K}$

Viscosidad cinemática: $\nu = 2,791 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

$T_{\text{int}} = 425,95 \text{ K}$

$T_1 = 408,15 \text{ K}$

$T_f = 417,05 \text{ K}$

$L = \text{Ancho del horno} = 700 \text{ mm} = 0,7 \text{ m}$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{417,05 \text{ K}} \rightarrow \beta = 2,4 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot (T_{\text{int}} - T_1)}{\nu^2} = \frac{(9,81)(2,4 \times 10^{-3})(0,7)^3(425,95 - 408,15)}{(2,791 \times 10^{-5})^2} = 1,85 \times 10^8$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = (1,85 \times 10^8)(0,7036) \rightarrow Ra = 1,3 \times 10^8$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387Ra^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 = \left\{ 0,825 + \frac{0,387(1,3 \times 10^8)^{1/6}}{[1 + (0,492/0,7036)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 = 66$$

$$h_{\text{int}} = \frac{K \cdot Nu}{L} = \frac{(0,03401 \text{ W/m} \cdot \text{K})(66)}{0,7 \text{ m}} \rightarrow h_{\text{int}} = 3,21 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

- Parte externa:

De acuerdo al anexo D para 307,65 K interpolando se tiene:

Número de Prandtl: $Pr = 0,7268$

Conductividad térmica: $K = 0,02625 \text{ W/m-K}$

Viscosidad cinemática: $\nu = 1,655 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

$T_{\text{ext}} = 299,15 \text{ K}$

$T_4 = 316,15 \text{ K}$

$T_f = 307,65 \text{ K}$

$L = \text{Ancho del horno} = 700 \text{ mm} = 0,7 \text{ m}$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{307,65 \text{ K}} \rightarrow \beta = 3,25 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot (T_4 - T_{\text{ext}})}{\nu^2} = \frac{(9,81)(3,25 \times 10^{-3})(0,7)^3(316,65 - 299,15)}{(1,655 \times 10^{-5})^2} = 6,99 \times 10^8$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = (6,99 \times 10^8)(0,7268) \rightarrow Ra = 5,08 \times 10^8$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387Ra^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 = \left\{ 0,825 + \frac{0,387(5,08 \times 10^8)^{1/6}}{[1 + (0,492/0,7268)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 = 100,1$$

$$h_{\text{ext}} = \frac{K \cdot Nu}{L} = \frac{(0,02625 \text{ W/m} \cdot \text{K})(100,1)}{0,7 \text{ m}} \rightarrow h_{\text{ext}} = 3,75 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Ahora se conocen todos los valores necesarios para calcular las temperaturas de la pared, entonces utilizando las ecuaciones 24, 25, 26, y 27 se tiene:

$$T_4 = \frac{425,95 \cdot \frac{1}{3,75} + 299,15 \cdot \left(\frac{1}{3,21} + 2 \frac{0,002}{14,9} + \frac{0,05}{0,035} \right)}{\frac{1}{3,21} + \frac{1}{3,75} + 2 \frac{0,002}{14,9} + \frac{0,05}{0,035}} \rightarrow T_4 = 316 \text{ K} = 42,85 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_3 = \frac{425,95 \cdot \frac{0,002}{14,9} + 316 \cdot \left(\frac{1}{3,21} + \frac{0,002}{14,9} + \frac{0,05}{0,035} \right)}{\frac{1}{3,21} + 2 \frac{0,002}{14,9} + \frac{0,05}{0,035}} \rightarrow T_3 = 316,01 \text{ K} = 42,86 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \frac{425,95 \cdot \frac{0,05}{0,035} + 316,01 \cdot \left(\frac{1}{3,21} + \frac{0,002}{14,9} \right)}{\frac{1}{3,21} + \frac{0,002}{14,9} + \frac{0,05}{0,035}} \rightarrow T_2 = 406,23 \text{ K} = 133,08 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_1 = \frac{425,95 \cdot \frac{0,002}{14,9} + 406,23 \cdot \frac{1}{3,21}}{\frac{1}{3,21} + \frac{0,002}{14,9}} \rightarrow T_1 = 406,24 \text{ K} = 133,09 \text{ }^\circ\text{C}$$

Como se puede apreciar en los resultados las temperaturas asumidas fueron acertadas por lo tanto se tomaran los valores como correctos. La temperatura para cada componente de la pared será:

$$T_{\text{lamina int}} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{133,09 \text{ }^\circ\text{C} + 133,08 \text{ }^\circ\text{C}}{2} \rightarrow T_{\text{lamina int}} = 133,09 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{fibra}} = \frac{T_2 + T_3}{2} = \frac{133,08 \text{ }^\circ\text{C} + 42,86 \text{ }^\circ\text{C}}{2} \rightarrow T_{\text{fibra}} = 87,97 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{lamina ext}} = \frac{T_3 + T_4}{2} = \frac{42,86 \text{ }^\circ\text{C} + 42,85 \text{ }^\circ\text{C}}{2} \rightarrow T_{\text{lamina ext}} = 42,86 \text{ }^\circ\text{C}$$

La temperatura de las paredes exteriores del túnel deben estar entre el rango de 30 a 50 °C por razones de seguridad, como la temperatura de la lámina externa entra en dicho rango se toman como correctos los espesores de fibra y láminas propuestos.

Ahora para poder calcular las pérdidas por las paredes falta encontrar el área de superficie, en hornos pequeños y medianos como el de este caso se toma en cuenta el mayor efecto aislante de arista y vértices, tomándose una superficie media calculada por la ecuación:

$$A_m = \sqrt{A_{ext} \cdot A_{int}} \quad (\text{Ec. 28})$$

Donde:

A_m = Área media de cálculo.

A_{ext} = Área exterior del túnel.

A_{int} = Área interna de cálculo.

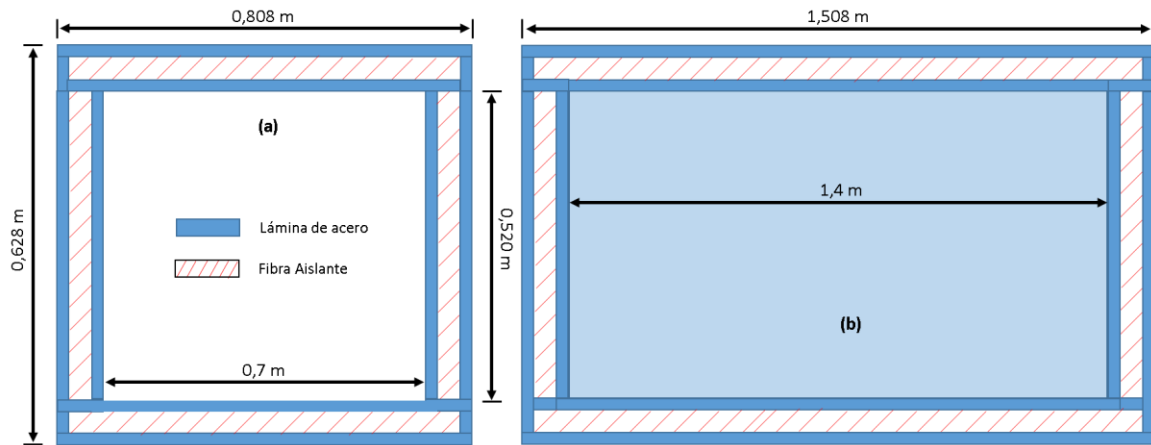


Figura 17. (a) Corte transversal del horno y (b) Corte longitudinal del horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Como la pared compuesta horizontal es igual que la vertical se considerara que las temperaturas resultantes sean iguales para ambas zonas de la pared. Como el área de las láminas horizontales es diferente al área de las láminas verticales, las pérdidas por las paredes se calculan para cada área, de la ecuación 22 se tiene:

$$Q_{pared_v} = \frac{A_{m_v}(T_{int} - T_4)}{\frac{1}{h_{int}} + 2\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2}} \quad \text{y} \quad Q_{pared_h} = \frac{A_{m_h}(T_{int} - T_4)}{\frac{1}{h_{int}} + 2\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2}}$$

- Pared horizontal:

$$A_{int} = (0,52 \text{ m})(1,4 \text{ m}) \rightarrow A_{int} = 0,728 \text{ m}^2$$

$$A_{ext} = (0,628 \text{ m})(1,508 \text{ m}) \rightarrow A_{ext} = 0,947 \text{ m}^2$$

$$A_{m_h} = \sqrt{(0,728 \text{ m}^2)(0,947 \text{ m}^2)} \rightarrow A_{m_h} = 0,83 \text{ m}^2$$

Entonces las pérdidas horizontales quedan:

$$Q_{\text{pared}_h} = \frac{(0,83 \text{ m}^2)(425,95 \text{ K} - 316 \text{ K})}{\frac{1}{3,21 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}} + 2\frac{0,002 \text{ m}}{14,9 \text{ W/m}\cdot\text{K}} + \frac{0,05 \text{ m}}{0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}}} \rightarrow Q_{\text{pared}_h} = 52,44 \text{ W}$$

- Pared vertical:

$$A_{\text{int}} = (0,7 \text{ m})(1,4 \text{ m}) \rightarrow A_{\text{int}} = 0,98 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{ext}} = (0,808 \text{ m})(1,508 \text{ m}) \rightarrow A_{\text{ext}} = 1,22 \text{ m}^2$$

$$A_{m_v} = \sqrt{(0,98 \text{ m}^2)(1,22 \text{ m}^2)} \rightarrow A_{m_v} = 1,1 \text{ m}^2$$

Entonces las pérdidas verticales quedan:

$$Q_{\text{pared}_v} = \frac{(1,1 \text{ m}^2)(425,95 \text{ K} - 316 \text{ K})}{\frac{1}{3,21 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}} + 2\frac{0,002 \text{ m}}{14,9 \text{ W/m}\cdot\text{K}} + \frac{0,05 \text{ m}}{0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}}} \rightarrow Q_{\text{pared}_v} = 69,5 \text{ W}$$

Por lo tanto las pérdidas totales por las paredes serán:

$$Q_{\text{paredes}} = 2Q_{\text{pared}_v} + 2Q_{\text{pared}_h} = 2(69,5 \text{ W}) + 2(52,44 \text{ W}) \rightarrow Q_{\text{paredes}} = 243,88 \text{ W}$$

4.3.2.4 Determinación de Pérdidas por Abertura de Cortinas

Cuando el producto o paquete entra o sale del horno la cortina se levanta para luego retornar a su posición inicial este movimiento hace que la cortina en su retorno introduzca aire dentro de la cámara de contracción es decir se producirá una infiltración de aire, el calor requerido para calentar el aire hasta la temperatura del horno es calor perdido por tal razón es necesario determinar las pérdidas por abertura de cortinas. A fines de cálculo a nivel de la boca del horno se puede considerar que la presión en el interior y en el exterior del horno son idénticas.

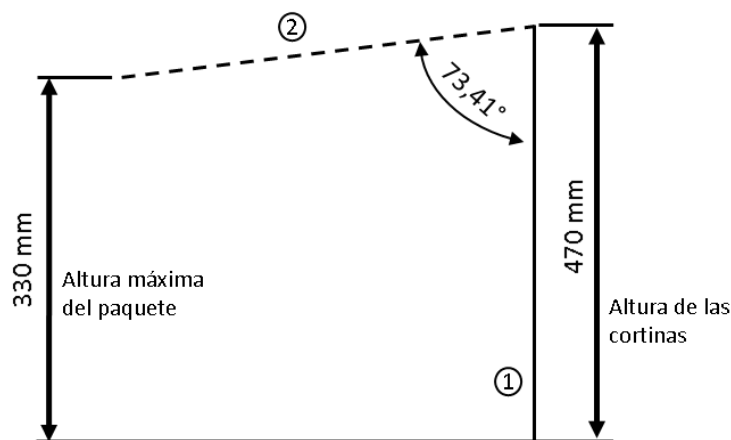


Figura 18. Desplazamiento de las cortinas del horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

En la figura 18 se puede observar el desplazamiento de la cortina desde la posición 1 hasta la posición 2 una vez que el paquete ha terminado de salir totalmente estas retornan desplazando un volumen de aire a temperatura ambiente. El volumen de aire desplazado se calcula mediante:

$$\gamma = A_{\text{arco}} \cdot w_{\text{cortina}} \quad (\text{Ec. 29})$$

Donde:

A_{arco} = Área del arco descrita por el extremo inferior de la cortina [m^2]

w_{cortina} = Ancho de la cortina [m] = 0,7 m

γ = Volumen de aire desplazado [m^3]

El área del arco se calcula mediante:

$$A_{\text{arco}} = \frac{1}{2} \cdot h_{\text{cortina}}^2 \cdot \theta \quad (\text{Ec. 30})$$

Donde:

h_{cortina} = Altura de la cortina [m] = 470 mm = 0,47 m

θ = Angulo de abertura de la cortina [rad]

$$\theta = 73,41^\circ \cdot \frac{\pi \text{ rad}}{180^\circ} \rightarrow \theta = 1,28 \text{ rad}$$

$$A_{\text{arco}} = \frac{1}{2} \cdot (0,47 \text{ m})^2 \cdot 1,28 \rightarrow A_{\text{arco}} = 0,14 \text{ m}^2$$

Entonces el volumen desplazado queda:

$$\gamma = (0,14 \text{ m}^2)(0,7 \text{ m}) \rightarrow \gamma = 0,098 \text{ m}^3$$

Para calcular el gasto volumétrico se utilizara la producción requerida por el sistema que es de 12 paquetes/min:

$$\dot{\gamma} = 0,098 \frac{\text{m}^3}{\text{paquete}} \cdot 12 \frac{\text{paquete}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \rightarrow \dot{\gamma} = 0,0196 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como a la entrada del paquete sale aire a la temperatura del horno y a la salida entra aire a la temperatura ambiente el cálculo de las pérdidas debe considerar el aire a ambas temperaturas, estas pérdidas se encuentran por medio de la ecuación 5 tomando en cuenta el cambio de densidades.

$$Q_{\text{cortinas}} = \dot{\gamma}(\rho_{\text{amb}} - \rho_{\text{horno}}) \cdot C_p(T_{\text{horno}} - T_{\text{amb}}) \quad (\text{Ec. 31})$$

Donde:

ρ_{amb} = Densidad del aire en ambiente (26 °C) [kg/m^3] = 1,184 kg/m^3 (anexo D)

ρ_{horno} = Densidad del aire en el horno (152,8 °C) [kg/m^3] = 0,829 kg/m^3 (anexo D)

C_p = Calor específico del aire [J/kg-K] = 1007 J/kg-K

T_{amb} = Temperatura ambiente [K] = 26 °C = 299,15 K

T_{horno} = Temperatura del horno [K] = 152,8 °C = 425,95 K

Sustituyendo valores se obtiene:

$$Q_{cortinas} = (0,0196)(1,184 - 0,829)(1007)(425,95 - 299,15) \rightarrow Q_{cortinas} = 888,5 \text{ W}$$

4.3.2.5 Determinación de Pérdidas en la Banda Transportadora

A diferencia de las paredes del horno la banda nunca llega al equilibrio porque está se encuentra entrando y saliendo del horno, fuera del horno la cinta se enfría y vuelve a su estado energético inicial en consecuencia si almacena energía; para luego entregarla cuando está fuera del horno. Pero esta variación de energía (entrada y salida de cadena) es tan poca que para calcularla se asumirá:

- Conducción unidimensional y que toda la banda está a una misma temperatura.
- La velocidad de la banda es siempre constante en el funcionamiento del horno.
- Intercambio de radiación entre el aire y la superficie de la banda transportadora en la parte interna del túnel insignificante.
- Área de la banda uniforme.
- Coeficiente convectivo constante y uniforme.

El balance energético de transferencia de calor por convección en la banda será:

$$Q_{horno} = Q_{amb} \quad (\text{Ec. 32})$$

Colocando la ecuación 32 en términos del coeficiente convectivo queda:

$$A_{banda} \cdot h_{horno}(T_{horno} - T_{banda}) = A_{banda} \cdot h_{amb}(T_{banda} - T_{amb}) \quad (\text{Ec. 33})$$

Ahora despejando para obtener la temperatura del horno:

$$T_{banda} = \frac{h_{amb} \cdot T_{amb} + h_{horno} \cdot T_{horno}}{h_{amb} + h_{horno}} \quad (\text{Ec. 34})$$

Para encontrar la temperatura del horno es necesario conocer el coeficiente convectivo sobre la banda por el horno y el ambiente, así que se asumirá una temperatura de la banda y luego si resultan valores muy alejados de lo supuesto se harán las correcciones de las propiedades que dependen de las temperaturas asumidas.

$$T_{banda} = 85 \text{ °C} = 358,15 \text{ K}$$

$$T_{horno} = 425,95 \text{ K}$$

$$T_{amb} = 26 \text{ °C} = 299,15 \text{ K}$$

Para saber las propiedades del aire en el horno y el ambiente es necesario conocer la temperatura de película que se calcula usando la ecuación 18:

$$T_{f_{\text{horno}}} = \frac{T_{\text{horno}} + T_{\text{banda}}}{2} = \frac{425,95 + 358,15}{2} \rightarrow T_{f_{\text{horno}}} = 392,05 \text{ K}$$

$$T_{f_{\text{amb}}} = \frac{T_{\text{banda}} + T_{\text{amb}}}{2} = \frac{358,15 + 299,15}{2} \rightarrow T_{f_{\text{amb}}} = 328,65 \text{ K}$$

Para hallar los coeficientes convectivos se recurrirá a las ecuaciones de la 14 a la 17 y 19.

- Banda dentro del horno

De acuerdo al anexo D para 392,05 K interpolando se tiene:

Número de Prandtl: $Pr = 0,7073$

Conductividad térmica: $K = 0,03235 \text{ W/m-K}$

Viscosidad cinemática: $\nu = 2,522 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

$T_{\text{horno}} = 425,95 \text{ K}$

$T_{\text{banda}} = 358,15 \text{ K}$

$T_f = 392,05 \text{ K}$

$L = \text{Ancho de la banda} = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{392,05 \text{ K}} \rightarrow \beta = 2,55 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot (T_{\text{horno}} - T_{\text{banda}})}{\nu^2} = \frac{(9,81)(2,55 \times 10^{-3})(0,5)^3(425,95 - 358,15)}{(2,522 \times 10^{-5})^2} = 3,33 \times 10^8$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = (3,33 \times 10^8)(0,7073) \rightarrow Ra = 2,36 \times 10^8$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387Ra^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 = \left\{ 0,825 + \frac{0,387(2,36 \times 10^8)^{1/6}}{[1 + (0,492/0,7073)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 = 79$$

$$h_{\text{horno}} = \frac{K \cdot Nu}{L} = \frac{(0,03235 \text{ W/m} \cdot \text{K})(79)}{0,5 \text{ m}} \rightarrow h_{\text{horno}} = 5,11 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

- Banda en el ambiente

De acuerdo al anexo D para 328,65 K interpolando se tiene:

Número de Prandtl: $Pr = 0,7215$

Conductividad térmica: $K = 0,02771 \text{ W/m-K}$

Viscosidad cinemática: $\nu = 1,847 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

$T_{\text{amb}} = 299,15 \text{ K}$

$T_{\text{banda}} = 358,15 \text{ K}$

$T_f = 328,65 \text{ K}$

$L = \text{Ancho de la banda} = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{328,65 \text{ K}} \rightarrow \beta = 3,04 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot (T_{\text{banda}} - T_{\text{amb}})}{\nu^2} = \frac{(9,81)(3,04 \times 10^{-3})(0,5)^3(358,15 - 299,15)}{(1,847 \times 10^{-5})^2} = 6,45 \times 10^8$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = (6,45 \times 10^8)(0,7215) \rightarrow Ra = 4,65 \times 10^8$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387Ra^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 = \left\{ 0,825 + \frac{0,387(4,65 \times 10^8)^{1/6}}{[1 + (0,492/0,7215)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 = 97,33$$

$$h_{\text{amb}} = \frac{K \cdot Nu}{L} = \frac{(0,02771 \text{ W/m} \cdot \text{K})(97,33)}{0,5 \text{ m}} \rightarrow h_{\text{amb}} = 5,39 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Entonces utilizando la ecuación 34 para comprobar la temperatura de la banda se obtiene:

$$T_{\text{banda}} = \frac{(5,39)(299,15) + (5,11)(425,95)}{5,39 + 5,11} \rightarrow T_{\text{banda}} = 360,86 \text{ K} = 87,71 \text{ }^\circ\text{C}$$

Como la temperatura resultante es cercana a la propuesta se tomara el valor de las propiedades de aire utilizados como correctos.

Ahora al conocer la temperatura de la banda se puede conocer sus pérdidas mediante la ecuación 35.

$$Q_{\text{banda}} = A_{\text{banda}} \cdot h_{\text{horno}}(T_{\text{horno}} - T_{\text{banda}}) \quad (\text{Ec. 35})$$

El área de la banda será:

$$A_{\text{banda}} = \text{Ancho}_{\text{banda}} \cdot \text{Largo}_{\text{banda}} = (0,5 \text{ m})(1,4 \text{ m}) \rightarrow A_{\text{banda}} = 0,7 \text{ m}^2$$

Entonces las pérdidas por la banda serán:

$$Q_{\text{banda}} = (0,7 \text{ m}^2)(5,11 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K})(425,95 \text{ K} - 360,86 \text{ K}) \rightarrow Q_{\text{banda}} = 232,83 \text{ W}$$

4.3.2.6 Determinación del Calor Necesario por el Sistema

Una vez conocido todas las exigencias energéticas sobre el sistema falta ver la energía necesaria por el aire para así realizar el proceso correctamente. El balance energético en el horno será:

$$Q_{\text{entra}} = Q_{\text{sale}} \rightarrow Q_{\text{sistema}} = Q_{\text{paquete}} + Q_{\text{paredes}} + Q_{\text{cortinas}} + Q_{\text{banda}} \quad (\text{Ec. 36})$$

Tabla 11. Energía requerida por el paquete.

Componente	Potencia Requerida
Película de Polietileno	1119 W
Envase de PET	947 W
Líquido	988 W
Total paquete	3054 W

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Tabla 12. Pérdidas de calor.

Condición	Pérdidas
Paredes horizontales	104,88 W
Paredes verticales	139 W
Cortinas	888,5 W
Banda	232,83 W
Total pérdidas	1365,21 W

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Sustituyendo valores en la ecuación 36:

$$Q_{\text{sistema}} = 3054 \text{ W} + 243,88 \text{ W} + 888,5 \text{ W} + 232,83 \text{ W} \rightarrow Q_{\text{sistema}} = 4419,21 \text{ W}$$

Tabla 13. Resultados obtenidos del análisis térmico del horno.

Medida	Valor
Temperatura del horno	152,8 °C
Temperatura de salida la película	130 °C
Temperatura de salida del envase	30 °C
Temperatura de salida del líquido	26,13 °C
Energía requerida por el paquete	3054 W
Temperatura de la lámina interna	133,09 °C
Temperatura de la lámina externa	42,86 °C
Temperatura del material aislante	87,97 °C
Pérdidas por las paredes	243,88 W
Pérdidas por las cortinas	888,5 W
Temperatura de la banda	87,71 °C

Continuación Tabla 13. Resultados obtenidos del análisis térmico del horno.

Pérdidas por la banda	232,83 W
Energía requerida por el sistema	4419,21 W

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

4.3.3 Selección y Cálculo de las Resistencias Eléctricas

En resumen, de lo que se muestra en la sección 2.2.6.1 se deduce la clasificación de las resistencias de calentamiento indirecto en metálicas, no metálicas, de tubos radiantes y las resistencias blindadas. En el cuadro 5 se muestra un resumen las características de cada tipo.

- Barras, varillas, alambres o pletinas, dispuestos en las paredes de la cámara de calentamiento del horno, transmitiendo calor a las piezas por radiación.
- Paquetes de resistencias de los mismos materiales que transmiten el calor por convección al aire o gases, y de estos, también por convección, a las piezas.
- Los mismos materiales, dispuestos en el interior de tubos radiantes.
- Resistencias blindadas, dispuestas en el interior de fundas metálicas.

Cuadro 5. Características de las resistencias indirectas.

Indicador	Resistencia de varillas	Paquetes de resistencias	Tubos radiantes	Resistencia aletada
Costo	Bajo	Alto	Alto	Medio
Energía por unidad de área	Medio	Medio	Alto	Alto
Espacio ocupado	Alto	Alto	Medio	Bajo
Capacidad de potencia	Medio	Alto	Alto	Alto
Durabilidad	Bajo	Alto	Medio	Alto
Capacidad convectiva	Alto	Alto	Bajo	Alto
Disponibilidad	Alto	Medio	Bajo	Alto

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Para seleccionar la resistencia adecuada se recurrirá al método de Vilchez mostrado en la sección 4.2.3.

- **Restricciones y Probables Soluciones**

- (PS)₁: Resistencia de varillas.
- (PS)₂: Paquete de resistencias.
- (PS)₃: Tubos radiantes.
- (PS)₄: Resistencia aletada.

Las restricciones (R_n) serán:

- R₁: Durabilidad con un flujo de aire aplicado.
- R₂: Fácil acceso en Venezuela.
- R₃: Dimensiones inferiores a 0,4 m.
- R₄: Costo inferior a 100\$.

Cuadro 6. Probables soluciones con respecto a las restricciones (resistencias).

		Probables Soluciones			
		(PS) ₁	(PS) ₂	(PS) ₃	(PS) ₄
Restricciones	R ₁	NO	SI	SI	SI
	R ₂	SI	SI	NO	SI
	R ₃	SI	SI	SI	SI
	R ₄	SI	SI	NO	SI

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

- **Ponderación de Criterios**

Los criterios seleccionados (C_n) y sus ponderaciones (PC)_n serán:

- C₁: Menor costo. → (PC)₁ = 4
- C₂: Menor tamaño. → (PC)₂ = 3
- C₃: Facilidad de reemplazo. → (PC)₃ = 1
- C₄: Mayor durabilidad. → (PC)₄ = 2

La comprobación lógica de estas ponderaciones se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Comprobación lógica de los criterios (resistencias).

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	N° de veces	(PC) _x
C ₁					3	4

Continuación Tabla 14. Comprobación lógica de los criterios (resistencias).

C ₂	C ₁				2	3
C ₃	C ₁	C ₂			0	1
C ₄	C ₁	C ₂	C ₄		1	2
Orden de Importancia	1ero	5to	2do	5to		

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

- **Ponderación de Soluciones Respecto a Cada Criterio**

Las soluciones (S_n) serán:

- S₁: Resistencia aletada.
- S₂: Paquete de resistencias.

Tabla 15. Soluciones con respecto al criterio 1 (resistencias).

C ₁	S ₁	S ₂	Nº de veces	P _{x1} = N
S ₁			1	P ₁₁ = 2
S ₂	S ₁		0	P ₂₁ = 1
Orden de Aceptación	1ero	2do		

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Tabla 16. Soluciones con respecto al criterio 2 (resistencias).

C ₂	S ₁	S ₂	Nº de veces	P _{x2} = N
S ₁			1	P ₁₂ = 2
S ₂	S ₁		0	P ₂₂ = 1
Orden de Aceptación	1ero	2do		

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Tabla 17. Soluciones con respecto al criterio 3 (resistencias).

C ₃	S ₁	S ₂	Nº de veces	P _{x3} = N
S ₁			1	P ₁₃ = 2

Continuación Tabla 17. Soluciones con respecto al criterio 3 (resistencias).

S ₂	S ₁		0	P ₂₃ = 1
Orden de Aceptación	1ero	2do		

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Tabla 18. Soluciones con respecto al criterio 4 (resistencias).

C ₄	S ₁	S ₂	Nº de veces	P _{x4} = N
S ₁			0	P ₁₄ = 1
S ₂	S ₂		1	P ₂₄ = 2
Orden de Aceptación	2do	1ero		

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

- **Ponderación Final**

Tabla 19. Valor final de cada solución (resistencias).

PC _x	P _{1x}	PC _x • P _{1x}	P _{2x}	PC _x • P _{2x}
PC ₁	P ₁₁	PC ₁ • P ₁₁ = 8	P ₂₁	PC ₁ • P ₂₁ = 4
PC ₂	P ₁₂	PC ₂ • P ₁₂ = 6	P ₂₂	PC ₂ • P ₂₂ = 3
PC ₃	P ₁₃	PC ₃ • P ₁₃ = 2	P ₂₃	PC ₃ • P ₂₃ = 1
PC ₄	P ₁₄	PC ₄ • P ₁₄ = 4	P ₂₄	PC ₄ • P ₂₄ = 4
$\sum (PC_x \cdot P_{1x}) = 20$			$\sum (PC_x \cdot P_{2x}) = 12$	

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

De la tabla se concluye que la solución que mejor se adapta a los requerimientos necesarios es la solución 1 la cual es utilizar resistencias aletadas. En este caso se utilizarán unas resistencias blindadas con aletas las cuales son generalmente usadas en sistemas con bajas temperaturas.

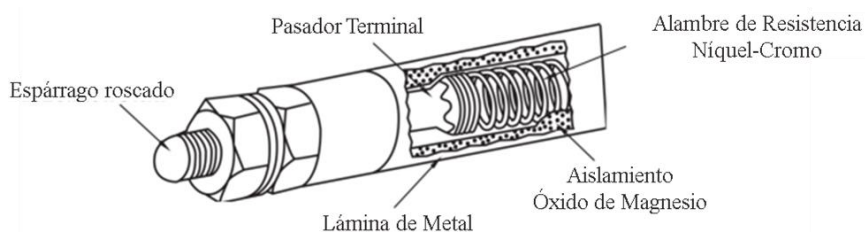


Figura 19. Composición interna de las resistencias blindadas.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

El poseer aletas le permite tener una mayor superficie de intercambio lo que conlleva una mayor eficiencia y mayor durabilidad de la resistencia. La carga específica para las resistencias blindadas con aletas varía de 1 a 4 W/cm² para aire forzado dependiendo de la temperatura del horno o equipo de calentamiento. Su potencia unitaria puede llegar hasta 4 kW.

Como se observó en la sección anterior la energía requerida por el sistema es de 4419,21 W, es conveniente fijar un valor mínimo de las resistencias mayor a la energía del sistema, para ello se considerara que la energía de sistema es un 15% mayor para así asegurar el tener la potencia suficiente aunque haya pérdidas por funcionamiento, pérdidas por la utilización de un termoencogible con micraje elevado o alguna otra pérdida no considerada. Entonces:

$$E_{requerida} = 4419,21 \text{ W} + 15\% \rightarrow E_{requerida} = 5082 \text{ W}$$

Esto hace que la potencia que debe ser entregada por las resistencias sea mayor a ese valor, para el diseño se seleccionaran las resistencias del catálogo que se muestra en el anexo H.

Modelos	Código	Cota A en mm	Wattios	W/cm ² (*)	Peso En Kg
Aleta de 25x50 de Aluzinc ó chapa aluminizada.	AL001	260	500	4,5	0,38
	AL002	300	600	4,6	0,45
	AL003	370	750	4,6	0,54
Tubo AISI 304 de Ø8 mm	AL004	430	850	4,4	0,62
Racores M12x1,25 de acero zincado (long. Rosca 8 mm).	AL005	500	1000	4,4	0,71
	AL009	620	1250	4,3	0,88
Cota C = 5 mm	AL006	740	1500	4,3	1,1
Cota D = 25 mm	AL007	970	2000	4,3	1,4
	AL008	1180	2500	4,4	1,5

Figura 20. Extracto del catálogo de resistencias aletadas.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Para el diseño del horno se van a realizar dos cajas porta resistencias con flujos de aire separados, realizar el diseño de esta forma tiene la ventaja de que así se asegura que el flujo de aire se mantenga caliente y a temperatura constante en toda la longitud de la cámara, cada caja tendrá las resistencias en dirección a las paredes del horno y deberán ser en total un número par por caja, en la figura 21 se puede ver un esquema de la caja.

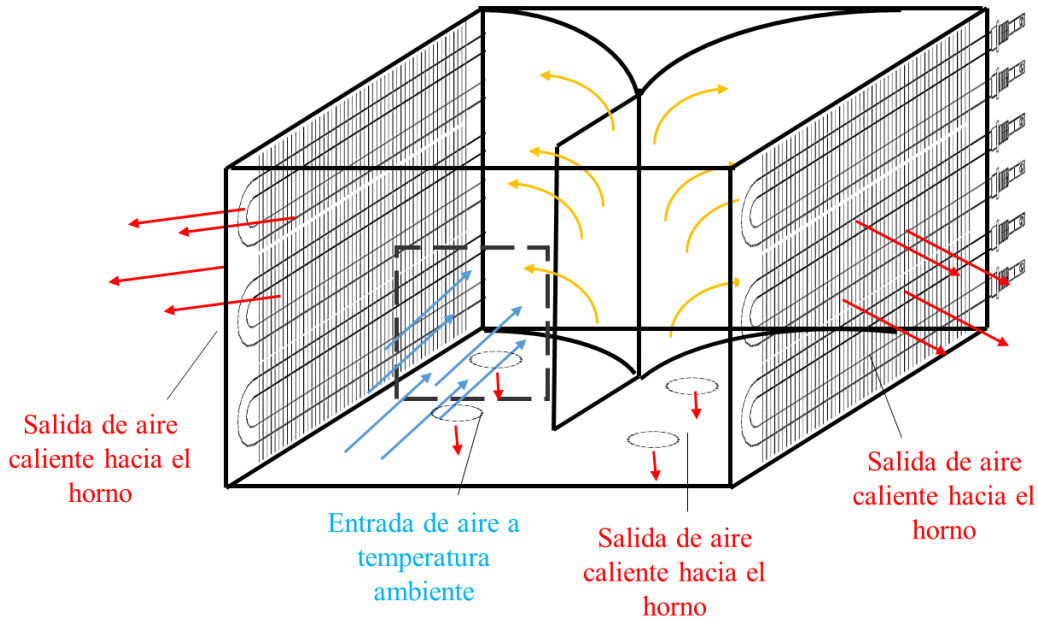


Figura 21. Esquema de la caja porta resistencia del horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Si se van a utilizar resistencias de 850 W, el número de resistencias necesarias será:

$$N = \frac{E_{requerida}}{E_{resistencia}} = \frac{5082 \text{ W}}{850 \text{ W}} \rightarrow N = 5,98 \text{ resistencias} \approx 6 \text{ resistencias}$$

Por lo tanto cada caja tendrá seis resistencias de 850 W con 3 por pared, para un total de 5100 W por caja. Entonces se seleccionaran las resistencias de 850 W código AL004 con aletas aluminizadas de 25x50 y un tubo AISI 304 con un diámetro de 8 mm.

4.3.4 Selección y Cálculo del Conjunto Turbina de Aire y Motor

Por lo expresado en la sección 2.2.6.2 es necesario que el horno tenga un ventilador para que pueda haber un flujo de aire caliente dentro de él. Para seleccionar el ventilador adecuado se recurrirá nuevamente al método de Vilchez.

- **Restricciones y Probables Soluciones**

- (PS)₁: Ventilador axial.
- (PS)₂: Ventilador centrífugo.

Las restricciones (Rn) serán:

- R₁: Revoluciones por minuto superiores a 1500.
- R₂: Fácil acceso en Venezuela.
- R₃: Dimensiones inferiores a 0,4 m.

- R₄: Resistencia a temperatura superiores de 150 °C.

Cuadro 7. Probables soluciones con respecto a las restricciones (ventiladores).

		Probables Soluciones	
		(PS) ₁	(PS) ₂
Restricciones	R ₁	SI	SI
	R ₂	SI	SI
	R ₃	SI	SI
	R ₄	NO	SI

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Como el ventilador axial no cumple con los requerimientos para operar en el horno se concluye que el ventilador que mejor se adapta es un ventilador centrífugo. Para seleccionar un ventilador centrífugo es necesario conocer antes el caudal de aire que necesita el sistema y la caída de presión que ocurre en él aunque generalmente para este tipo de hornos al no poseer una longitud de ducto muy grande las pérdidas de presión son pequeñas. El caudal de aire necesario por el sistema se puede saber gracias a la ecuación 5.

$$Q_{\text{requerida}} = \dot{m} \cdot C_p(T_s - T_e)$$

Donde:

$$Q_{\text{requerida}} = \text{Energía necesaria por el sistema [W]} = 5082 \text{ W}$$

$$\dot{m} = \text{Flujo de masa del sistema (aire) [kg/s]}$$

$$C_p = \text{Calor Especifico (aire) [J/kg-K]} = 1007 \text{ J/kg-K (anexo D)}$$

$$T_s = \text{Temperatura de salida del aire [K]} = T_{\text{horno}} = 425,95 \text{ K}$$

$$T_e = \text{Temperatura de entrada del aire [K]} = T_{\text{amb}} = 299,15 \text{ K}$$

Despejando el flujo másico y sustituyendo valores:

$$\dot{m} = \frac{Q_{\text{requerida}}}{C_p(T_s - T_e)} = \frac{5082 \text{ W}}{(1007 \text{ J/kg} \cdot \text{K})(425,95 \text{ K} - 299,15 \text{ K})} \rightarrow \dot{m} = 0,04 \text{ kg/s}$$

Ahora para conocer el caudal de aire hay que considerar la densidad de este a la temperatura del horno, interpolando en el anexo D para 425,95 K se tiene $\rho_{\text{aire}} = 0,8286 \text{ kg/m}^3$ entonces:

$$\text{Flujo de aire} = \dot{m} \cdot \rho_{\text{aire}} = \frac{0,04 \text{ kg/s}}{0,8286 \text{ kg/m}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \rightarrow \text{Flujo de aire} = 174 \text{ m}^3/\text{h}$$

En la práctica, resulta conveniente expresar la pérdida de presión para todos los tipos de flujos internos completamente desarrollados (flujos laminares o turbulentos, tubos circulares o no circulares, superficies lisas o ásperas, tubos horizontales o inclinados) como:

$$\Delta P = f \cdot \frac{\rho \cdot v_m^2}{2 \cdot D_h} \cdot H \quad (\text{Ec. 37})$$

Donde:

ΔP = Caída de presión [Pa]

f = Factor de fricción

ρ = Densidad del fluido [kg/m^3] = 0,8286 kg/m^3

v_m = Velocidad promedio del flujo [m/s]

H = Altura o longitud del horno [m] = 1,4 m

D_h = Diámetro Hidráulico del ducto donde están las resistencias [m]

El diámetro hidráulico representa el espacio por el que va a pasar el aire (para efectos de cálculo se considerara que el ducto está vacío en su interior) esa área por la que pasara será la que ocupen las 3 resistencias, como sus aletas son de 50 mm y hay 3 resistencias espaciadas 10 mm entre sí su altura será de 170 mm, el ancho del ducto se considerara igual al ancho de la parte caliente de la resistencia la cual mide 270 mm.

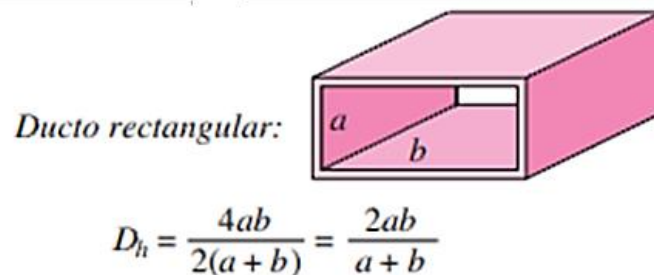


Figura 22. Diámetro hidráulico en un ducto rectangular.

Fuente: Çengel, Y. & Ghajar, A. (2011)

Entonces para $a = 170 \text{ mm} = 0,17 \text{ m}$ y $b = 270 \text{ mm} = 0,27 \text{ m}$:

$$D_h = \frac{2(0,17 \text{ m})(0,27 \text{ m})}{0,17 \text{ m} + 0,27 \text{ m}} \rightarrow D_h = 0,209 \text{ m}$$

La velocidad promedio se calcula mediante:

$$v_m = \frac{4\dot{m}}{\rho \cdot \pi \cdot D_h^2} = \frac{4(0,04 \text{ kg/s})}{\pi(0,8286 \text{ kg/m}^3)(0,209 \text{ m})^2} \rightarrow v_m = 1,41 \text{ m/s}$$

Para obtener el factor de fricción es necesario primero conocer el número de Reynolds, este se calcula mediante:

$$Re = \frac{\rho \cdot v_m \cdot D_h}{\mu} \quad (\text{Ec. 38})$$

Interpolando en el anexo D para 425,95 K se tiene $\mu = 2,404 \times 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ entonces:

$$Re = \frac{(0,8286 \text{ kg/m}^3)(1,41 \text{ m/s})(0,209 \text{ m})}{2,404 \times 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}} \rightarrow Re = 10158$$

Para los tubos lisos, el factor de fricción en el flujo turbulento se puede determinar a partir de la primera ecuación de Petukhov:

$$f = (0,790 \ln Re - 1,64)^{-2} \quad 3000 < Re < 5 \times 10^6 \quad (\text{Ec. 39})$$

Sustituyendo valores:

$$f = [0,790 \ln(10158) - 1,64]^{-2} \rightarrow f = 0,032$$

Ahora sustituyendo valores en la ecuación 17 para obtener la caída de presión:

$$\Delta P = 0,032 \cdot \frac{(0,8286 \text{ kg/m}^3)(1,41 \text{ m/s})^2}{2(0,209 \text{ m})} \cdot 1,4 \text{ m} \rightarrow \Delta P = 0,18 \text{ Pa}$$

Como se mencionó anteriormente resulto una pérdida de presión muy baja por lo que el aspecto más importante para seleccionar el ventilador centrífugo será el flujo de aire. Del anexo I se seleccionará el ventilador centrífugo modelo 2GTA15-120/62R con una presión máxima de 270 Pa, una velocidad de 1715 rpm, un flujo de aire de 270 m³/h y una potencia de 68 W.

Considerando que la eficiencia del motor es de un 70%, el motor de accionamiento del ventilador debe tener una potencia de:

$$P = \frac{68 \text{ W}}{0,7} \rightarrow P = 97,14 \text{ W}$$

Entrando en el anexo J se seleccionara un motor trifásico IP21 de carcasa A56 con una potencia de 0,12 kW con 1760 rpm.

4.3.5 Diseño del Sistema Transportador

4.3.5.1 Fuerza de Tracción en la Malla

De la sección 4.3.2.5 se conoce que la banda tendrá un ancho de 500 mm, Para este tipo de hornos es común utilizar mallas de acero con piñones, en los anexos 7 y 8 se puede observar cómo se conforma el conjunto piñón-malla, debido a la reducida longitud del sistema la malla va a deslizarse sobre unas guías de desgaste de acero. Para este transportador se van a utilizar piñones

ASA 80 con 15 dientes, teniendo un diámetro de 5,3” = 134,62 mm. La malla que se utilizara será de acero galvanizado.

Para saber si la selección de la malla es correcta necesario calcular la tensión a la que será sometida, esta se calcula por medio de:

El esfuerzo tangencial de la malla depende principalmente del peso de la malla y el peso de los elementos que transporta, esto se calcula mediante:

$$T_m = (2w_c + w_m) \cdot L \cdot \mu_d \cdot g \quad (\text{Ec. 40})$$

Donde:

T_m = Tensión de la malla [N]

w_c = Peso por longitud de la cadena [kg/m]

w_m = Peso por longitud de material [kg/m]

μ_d = Coeficiente de fricción entre cadena y guía de desgaste

L = Longitud entre centros de engranes [m]

g = aceleración de la gravedad [m/s^2] = 9,81 m/s^2

En la sección 4.3.2.1 se determinó la masa máxima de cada componente de la carga.

Tabla 20. Masa de los componentes del paquete.

Componente	Masa
Película de Polietileno	0,02782 kg/paquete
Envase de PET	0,9093 kg/paquete
Liquido	11,964 kg/paquete
Total paquete	13 kg

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Como la distancia entre paquetes se colocó como 340 mm el peso del paquete por longitud de material será:

$$w_m = \frac{13 \text{ kg}}{0,34 \text{ m}} \rightarrow w_m = 38,24 \text{ kg/m}$$

En la sección 4.3.1.3 se determinó que el largo del túnel será de 1,4 m, para la comodidad de los operarios se fijara una longitud de 400 mm antes de entrar al túnel y al salir de este, esto da una distancia entre los centros de los engranes de 2,2 m.

De acuerdo al anexo G la banda metálica tiene un peso de 30,5 kg/m^2 , para este caso con un ancho de banda de 0,5 m se tiene que el peso de la banda por longitud de cadena será:

$$w_c = (30,5 \text{ kg/m}^2)(0,5 \text{ m}) \rightarrow w_c = 15,25 \text{ kg/m}$$

De acuerdo al anexo K el coeficiente de fricción entre la cadena y la guía de acero dulce sin lubricar será de $\mu_d = 0,4$.

Entonces reemplazando valores en la ecuación 40:

$$T_m = [2(15,25 \text{ kg/m}) + 38,24 \text{ kg/m}](2,2 \text{ m})(0,4)(9,81 \text{ m/s}^2) \rightarrow T_m = 593 \text{ N}$$

Esta tensión es la que va a sufrir la malla por la carga que va a transportar, ahora este valor hay que modificarlo de acuerdo a unos factores de corrección que son en relación con las condiciones de trabajo que tenga la malla, además se considerara un factor de seguridad de 2 para así tomar en cuenta los efectos de la fuerza centrífuga y la fuerza producida por la catenaria que son pequeños en sistemas de transporte de baja velocidad y poca longitud, entonces la tensión ajustada se calcula mediante:

$$T_a = 2 \cdot T_m \cdot f_1 \cdot f_2 \quad (\text{Ec. 41})$$

Donde los factores f_1 y f_2 se muestran en las tablas 15 y 16.

Tabla 21. Factor de corrección f_1 .

		Horas de trabajo diarias					
		Nº arranques por hora					
Tipo	Tipo	8 h/día		16 h/día		24 h/día	
		hasta 2	de 2 a 10	hasta 2	de 2 a 10	hasta 2	de 2 a 10
Funcionamiento Uni- formal (sobrecargas inferiores al 5%)	Normal	1	1,20	1,20	1,40	1,60	1,80
	Irregular	1,30	1,50	1,50	1,80	2,00	2,30
	Sin engrase	1,70	2,00	2,00	2,40	2,70	3,00
Funcionamiento irregu- lar (sobrecargas entre el 5% y el 20%)	Normal	1,20	1,40	1,40	1,60	1,80	2,00
	Irregular	1,50	1,80	1,80	2,00	2,30	2,60
	Sin engrase	2,00	2,40	2,40	2,70	3,00	3,40
Funcionamiento a golpes (sobrecargas entre el 20% y el 40%)	Normal	1,40	1,60	1,60	1,80	2,00	2,20
	Irregular	1,80	2,00	2,00	2,30	2,60	3,00
	Sin engrase	2,40	2,70	2,70	3,00	3,40	3,80

Fuente: <http://www.cadersa.es/indice.htm>

Suponiendo que la malla trabaja 8 horas diarias con sobrecargas inferiores al 5% y un engrase normal, se tiene un factor $f_1 = 1,2$.

Tabla 22. Factor de corrección f_2 .

Nº dientes rueda	Velocidad cadena m/seg					
	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2
6	1,4	2	2,9	4,4	-	-
7	1,1	1,4	1,8	2,3	4	-
8	1	1,3	1,5	1,8	2,5	3,6
9	1	1,2	1,4	1,6	2,0	2,6
10	0,9	1,1	1,2	1,4	1,7	2,0
11	0,9	1	1,2	1,3	1,5	1,8
13	0,8	1	1,1	1,2	1,4	1,5
15	0,8	0,9	1	1	1,2	1,3
19	0,8	0,9	1	1	1,1	1,2

Fuente: <http://www.cadersa.es/indice.htm>

Para una velocidad de $4,1 \text{ m/min} = 0,07 \text{ m/s}$ se tiene un factor de $f_2 = 0,8$.

Sustituyendo en la ecuación 41 se obtiene:

$$T_a = 2(593 \text{ N})(1,2)(0,8) \rightarrow T_a = 1139 \text{ N}$$

En la tabla 23 se pueden observar los valores de tensión permisibles para estas bandas en función de la relación entre la velocidad de la banda y su longitud.

Tabla 23. Tensión permisible en la cadena.

Relación V/L(1/min)	Tensión Permisible (N)
0.2	2778.30
0.3	2489.36
0.5	2178.19
0.7	2000.38
1.0	1778.11
2.5	1422.49
5.0	1622.53
8.0	1022.41
15.0	866.83

Fuente: Zambrano, G. (2007)

Para este caso con una velocidad de banda de $4,1 \text{ m/min}$ y una longitud de $2,2 \text{ m}$ esa relación será:

$$\frac{v}{L} = \frac{4,1 \text{ m/min}}{2,2 \text{ m}} \rightarrow \frac{v}{L} = 1,86 \text{ min}^{-1}$$

Como la tensión ajustada resultante es menor a la tensión permisible en el rango de $v/L = 1$ y $v/L = 2,5$ se concluye que la banda va a funcionar sin problemas para la velocidad y longitud entre centros planteada.

4.3.5.2 Longitud de la Cadena

Para calcular esta se toma en cuenta la longitud entre apoyos, entre arcos de circunferencia (piñones) y cualquier otro tramo por donde deba pasar la cadena una vez puesta en operación. Entonces:

$$L_{\text{cadena}} = 2(\text{longitud entre centros}) + 2(\text{longitud del arco del piñón}) \quad (\text{Ec. 42})$$

Considerando que la cadena arropa el piñón 180° , su longitud de arco se calcula por medio del perímetro $p = \pi D$, al solo cubrir 180° , la ecuación se convierte en $p = \pi D/2$.

Como el piñón tiene un diámetro de 134,62 mm, su longitud de arco será:

$$\text{longitud del arco del piñón} = \frac{\pi(134,62 \text{ mm})}{2} = 211,5 \text{ mm} = 0,2115 \text{ m}$$

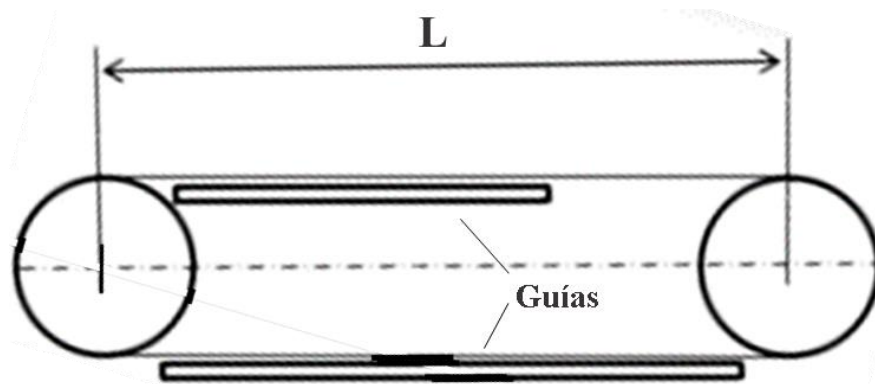


Figura 23. Esquema del sistema transportador del horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Por lo tanto la longitud de la cadena será:

$$L_{\text{cadena}} = 2(2,2 \text{ m}) + 2(0,2115 \text{ m}) \rightarrow L_{\text{cadena}} = 4,823 \text{ m}$$

De acuerdo al paso de la cadena ($1 \text{ pulgada} = 25,4 \text{ mm} = 0,0254 \text{ m}$) se puede saber el número de eslabones mediante:

$$\text{N}^\circ \text{ eslabones} = \frac{L_{\text{cadena}}}{\text{paso}} = \frac{4,823 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} = 189,88 \rightarrow 190 \text{ eslabones}$$

Entonces ajustando la longitud de la cadena:

$$L_{\text{cadena}} = (0,0254 \text{ m})(190 \text{ eslabones}) \rightarrow L_{\text{cadena}} = 4,826 \text{ m}$$

4.3.5.3 Selección del Motorreductor

Para seleccionar el equipo motorreductor que accione el sistema de transportación es necesario conocer la potencia que va a necesitar este y las revoluciones a las que va a girar el piñón, esta se calcula mediante:

$$P = \frac{v \cdot T_a}{\eta \cdot 60} \quad (\text{Ec. 43})$$

Donde:

T_a = Tensión ajustada de la malla [N] = 1139 N

v = Velocidad del sistema de transportación [m/min] = 4,41 m/min

η = Eficiencia del motor

Considerando que el conjunto tiene una eficiencia de 70% sustituyendo valores:

$$P = \frac{(4,41 \text{ m/min})(1139 \text{ N})}{60(0,7)} \rightarrow P = 120 \text{ W}$$

Las rpm a las que girará el piñón se calculan mediante:

$$n = \frac{v}{\pi \cdot D} \quad (\text{Ec. 43})$$

Donde:

n = Velocidad angular [rpm]

v = Velocidad del sistema de transportación [m/min] = 4,41 m/min

D = Diametro del piñón [m] = 134,62 mm = 0,13462 m

Sustituyendo valores:

$$n = \frac{4,41 \text{ m/min}}{\pi(0,13462 \text{ m})} \rightarrow n = 10,43 \text{ rpm}$$

Con estas rpm y una potencia de 120 W se selecciona el motorreductor 2KJ1600 - 1CB13 - 2CK1 del anexo M el cual posee una potencia de 0,14 kW, una velocidad de salida de 10,8 rpm y un par de salida de 94 Nm.

4.3.5.4 Cálculo del Eje del Piñón Motriz

El eje del piñón motriz está sujeto a flexiones con fatiga alterna y a torsión. Para calcular el diámetro del eje del piñón se utilizará el método ASME para flexión alterna y torsión constante:

$$d = \left[\frac{32N}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{K_f \cdot M_r}{S_n}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{T}{S_y}\right)^2} \right]^{1/3} \quad (\text{Ec. 44})$$

Donde:

N = Factor de seguridad

K_f = Factor de concentrador de esfuerzos

M_f = Momento flector resultante sobre el eje [Nm]

T = Momento torsor sobre el eje [Nm] = 94 Nm

S_n = Límite de fatiga [Pa]

S_y = Esfuerzo de fluencia del material [Pa]

Para aplicaciones suaves donde no ocurra grandes fuerzas se puede considerar un factor de seguridad de 2. Como se utilizarán piñones apoyados sobre cuñas de corredera el factor de concentración de esfuerzos será de $K_f = 1,6$.

Para hallar el momento flector sobre el eje hay que realizar un análisis de las cargas aplicadas sobre él, estas cargas aplicadas son la del peso de los piñones, la carga de un paquete cuando está por encima del eje y la de las tensiones de la cadena. El eje tendrá una longitud de 1 m entre apoyos y sobre él irán cuatro piñones encargados de mover la malla, estos estarán espaciados 150 mm entre ellos como indica el anexo G y serán simétricos con el centro del eje. Anteriormente se encontró que el paquete tiene un peso de 13 kg, de acuerdo al anexo L el piñón tiene un peso de 5,3 lb = 2,4 kg. En la figura 24 se puede ver un esquema sobre las fuerzas y sus direcciones.

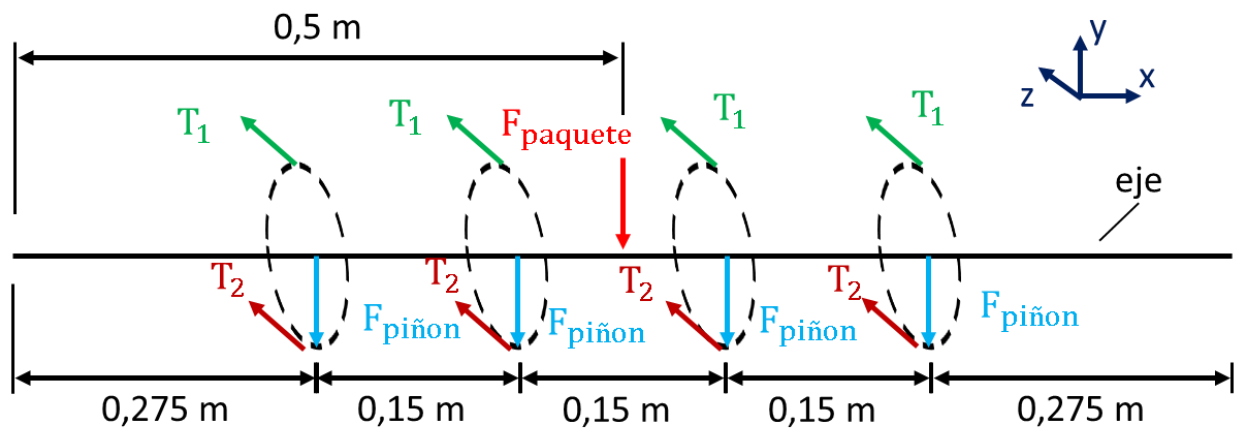


Figura 24. Esquema de las fuerzas aplicadas sobre el eje.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

La tensión 2 conocida como la tensión en el lado flojo se puede hallar mediante la siguiente relación:

$$\frac{T_1}{T_2} \leq e^{\pi \cdot f_p} \quad (\text{Ec. 45})$$

Donde f_a es un factor de fricción entre la cadena y el piñón, si ambas superficies están secas este toma un valor de $f_p = 0,25$, despejando para T_2 :

$$T_2 = \frac{T_1}{e^{\pi \cdot f_p}} = \frac{1139 \text{ N}}{e^{\pi(0,25)}} \rightarrow T_2 = 520 \text{ N}$$

Esto quiere decir que las fuerzas aplicadas sobre el eje serán:

$$F_{\text{paquete}} = (13 \text{ kg})(9,81 \text{ m/s}^2) \rightarrow F_{\text{paquete}} = 128 \text{ N}$$

$$F_{\text{piñon}} = (2,4 \text{ kg})(9,81 \text{ m/s}^2) \rightarrow F_{\text{piñon}} = 24 \text{ N}$$

$$T_1 = 1139 \text{ N}$$

$$T_2 = 520 \text{ N}$$

$$T_R = T_1 + T_2 = 1139 \text{ N} + 520 \text{ N} \rightarrow T_R = 1659 \text{ N}$$

En la figura 25 se observan las cargas aplicadas y sus respectivos diagramas.

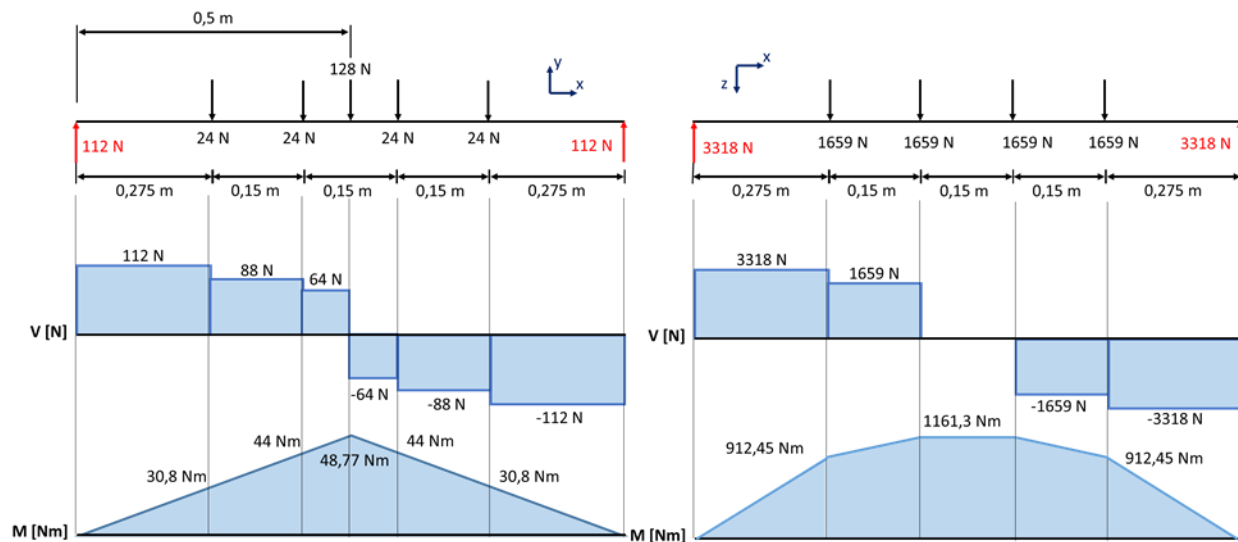


Figura 25. Diagramas cortantes y de momento flector.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

El momento flector resultante es el lugar del eje donde el momento es mayor, en los diagramas se puede apreciar claramente que ese punto será en la mitad del eje, entonces:

$$M_r = \sqrt{M_y^2 + M_z^2} = \sqrt{(48,77 \text{ Nm})^2 + (1161,3 \text{ Nm})^2} \rightarrow M_r = 1163 \text{ Nm}$$

Si el material que se va a utilizar para el eje es un acero AISI 1020, de acuerdo al anexo N se tiene que su esfuerzo de fluencia será $S_y = 210 \text{ MPa}$ y su esfuerzo de rotura será $S_u = 380 \text{ MPa}$.

El límite de fatiga se encuentra gracias a los coeficientes de Marín, para este caso se excluirán los coeficientes cuyo valor es 1, entonces el límite de fatiga será:

$$S_n = S'_n \cdot C_s \cdot C_d \cdot C_{cf} \cdot C_c \quad (\text{Ec. 46})$$

S'_n = Límite de fatiga para materiales ferrosos [MPa]

C_s = Coeficiente por acabado superficial

C_d = Coeficiente por dimensión de la pieza

C_{cf} = Coeficiente por confiabilidad funcional

C_c = Coeficiente por carga de corte

Para acero el coeficiente por carga de corte tiene un valor de $C_c = 0,6$ y su límite de fatiga será:

$$S'_n = 0,5S_u = 0,5(380 \text{ MPa}) \rightarrow S'_n = 190 \text{ MPa}$$

Para una confiabilidad del 99% se tiene un coeficiente de confiabilidad de $C_{cf} = 0,83$.

Si consideramos que el diámetro resultante será $< 12,5$ mm el coeficiente por dimensión de la pieza será de $C_d = 1$.

Como el eje será rectificado el factor superficial será:

$$C_s = 1,58(S_u)^{-0,085} = 1,58(380)^{-0,085} \rightarrow C_s = 0,9536$$

Entonces el límite de fatiga será:

$$S_n = (190 \text{ MPa})(0,9536)(1)(0,83)(0,6) \rightarrow S_n = 90,23 \text{ MPa}$$

Por lo tanto sustituyendo valores en la ecuación 44:

$$d = \left[\frac{32(2)}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{1,6 \cdot 1163}{90,23}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{94}{210}\right)^2} \right]^{1/3} \rightarrow d = 7,5 \text{ mm}$$

Como el diámetro $< 12,5$ mm se seleccionaron bien los coeficientes, para utilizar chumaceras convencionales se elegirá un diámetro de 12 mm el cual es superior al diámetro mínimo y por lo cual funcionara sin problemas, también se utilizara el mismo eje para el piñón conducido.

4.3.5.5 Selección y Cálculo de las Chumaceras

Al conocer el eje a utilizar es momento de calcular los apoyos en donde va colocado. Para el diseño de este transportador se considerara que la carga axial es despreciable, la carga equivalente sobre el rodamiento será únicamente la radial y como se observa en la figura 25 tendrá un valor de:

$$F_d = \sqrt{V_y^2 + V_z^2} = \sqrt{(112 \text{ N})^2 + (3318 \text{ N})^2} \rightarrow F_d = 3320 \text{ N} = 3,32 \text{ kN}$$

Para seleccionar una chumacera del catálogo hay que conocer la capacidad básica de carga, esta se calcula mediante:

$$C = F_d \cdot \left(\frac{L_d}{10^6}\right)^{\frac{1}{a}} \quad (\text{Ec. 47})$$

Dónde:

C = Capacidad básica de carga [N]

L_d = Vida útil del diseño

F_d = Carga de diseño

$a = 3$ para rodamientos de bolas y $10/3$ para rodamientos de rodillos.

La vida útil de diseño se calcula mediante:

$$L_d = (h) \cdot (\text{rpm}) \cdot 60(\text{min/h}) \quad (\text{Ec. 48})$$

Donde h es la vida útil de diseño en horas y se encuentra en la tabla 24.

Tabla 24. Vida útil de diseño.

Guideline values of requisite basic rating life L_{10h} for Y-bearings and Y-bearing units	
Type of machine	Requisite basic rating life L_{10h} operating hours
Machines used for short periods or intermittently	
Agricultural and ancillary transport equipment	1 000 to 2 000
Other agricultural equipment	4 000 to 8 000
Machines used 8 hours per day but not always fully utilized	
Belt conveyors	12 000 to 20 000
Machines used 8 hours per day and fully utilized	
Light duty fans, textile machinery	20 000 to 30 000

Fuente: <https://www.skf.com/ven>

De acuerdo a la tabla 24 para transportadores se tiene un rango de 12000 a 20000 horas, de esto se considerará una vida útil de diseño de 16000 h, entonces para 10,43 rpm se tiene:

$$L_d = (16000 \text{ h})(10,43 \text{ rpm})(60 \text{ min/h}) \rightarrow L_d = 11,3 \times 10^6$$

Si se desea utilizar un rodamiento de bolas ($a = 3$), la carga básica será:

$$C = (3,32 \text{ kN}) \left(\frac{11,3 \times 10^6}{10^6}\right)^{\frac{1}{3}} \rightarrow C = 7,45 \text{ kN}$$

Con ayuda del anexo Ñ se seleccionará una chumacera YAR 203/12-2F con un diámetro de eje de 12 mm y una capacidad de carga básica de 9,56 kN.

4.3.6 Selección del Ventilador de Enfriamiento y las Cortinas

A la salida de la cámara del túnel se tendrá un pequeño ventilador cuya función es la de enfriar el paquete, las películas de polietileno tienen la particularidad de que la mayoría de su contracción ocurre cuando estas se enfrían, es decir, que al disminuir su temperatura rápidamente se incrementa su fuerza de contracción por esto tener un ventilador a la salida del horno es muy importante porque permite aprovechar el máximo rendimiento de la película.

Para seleccionar el ventilador es necesario conocer el flujo de aire necesario para igualar la energía con la que sale el paquete del horno, por eso se plantea el siguiente balance:

$$E_{entra} = E_{sale} \rightarrow E_{paquete} = E_{aire} \rightarrow Q_{paquete} = \dot{m}_{aire} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (Ec. 49)$$

Dónde:

$$Q_{paquete} = \text{Calor almacenado con el que sale el paquete [W]} = 3054 \text{ W}$$

$$\dot{m}_{aire} = \text{Flujo másico del aire [kg/s]}$$

$$C_p = \text{Calor específico del aire [J/kg-K]} = 1007 \text{ J/kg-K (anexo D)}$$

$$\Delta T = \text{Gradiente de temperatura del aire [K]} = T_{amb} = 26 \text{ °C} = 299,15 \text{ K}$$

Despejando el flujo masivo del aire de la ecuación 49 y sustituyendo valores:

$$\dot{m}_{aire} = \frac{Q_{paquete}}{C_p \cdot \Delta T} = \frac{3054 \text{ W}}{(1007 \text{ J/kg} \cdot \text{K})(299,15 \text{ K})} \rightarrow \dot{m}_{aire} = 0,011 \text{ kg/s}$$

El flujo de aire se calcula gracias a la densidad del aire la cual a 26 °C es $\rho = 1,184 \text{ kg/m}^3$ (anexo D), entonces:

$$\text{Flujo de aire} = \dot{m} \cdot \rho_{aire} = \frac{0,011 \text{ kg/s}}{1,183 \text{ kg/m}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \rightarrow \text{Flujo de aire} = 35 \text{ m}^3/\text{h}$$

Como desde que el paquete sale se encuentra con la temperatura ambiente el flujo de aire necesario es reducido por ende se va a seleccionar un ventilador con una gran superficie que pueda enfriar todo el paquete. Del anexo O se selecciona el ventilador axial ECM C-HC-HBS 12-10 con un diámetro de 154 mm y una inclinación de aspas de 19°. Su velocidad es de 2200 rpm, un flujo de aire de 180 m³/h y una potencia de 3,9 W.

Considerando que la eficiencia del motor es de un 70%, el motor de accionamiento del ventilador debe tener una potencia de:

$$P = \frac{3,9 \text{ W}}{0,7} \rightarrow P = 5,6 \text{ W}$$

Del anexo P el motor que mejor se adapte será el de código NET7B08NNN801 con una potencia de salida de 8 W.

Las cortinas son una parte importante del horno, estas permiten que el horno mantenga su elevada temperatura interna mientras fuera de él se encuentra a temperatura ambiente, estas cortinas están hechas de diversos materiales plásticos pero las más comunes son hechas a base de teflón, este material tiene la propiedad de ser un gran aislante térmico y por lo tanto las cortinas que utilizaremos serán de teflón las cuales soportan una temperatura de hasta 250 °C, en el anexo Q se pueden observar las especificaciones de la cortina seleccionada.

4.3.7 Diseño de la Estructura Inferior del Horno

Para realizar el cálculo de la estructura inferior del horno se tomarán en cuenta las siguientes consideraciones:

- La parte superior del horno será considerada como un bloque, los hornos comerciales tienen un peso de entre 150 y 300 kg, para tener un diseño seguro se tendrá que el peso máximo será de 300 kg.
- La carga se distribuye de manera uniforme sobre las 4 piernas que servirán como soporte.
- El peso del bloque se concentrará en su centro de masa

En la figura 26 se muestra un esquema de la estructura tomando en cuenta las consideraciones mostradas.

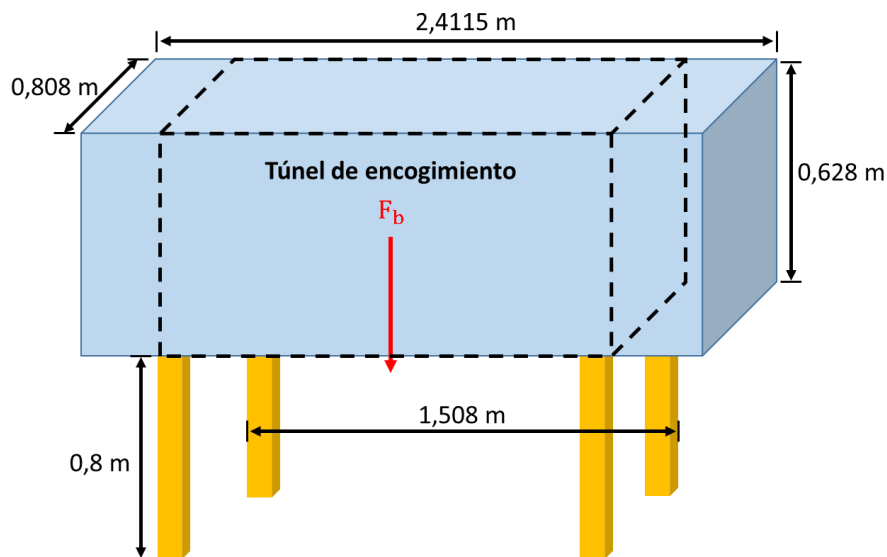


Figura 26. Esquema de los soportes sobre los cuales irá apoyado el horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

En la figura 26 se puede observar que cada pierna ira sobre una esquina del túnel mientras que el bloque toma en cuenta la longitud horizontal de la malla; para darle comodidad al diseño se estableció que los soportes principales tendrán una longitud de 0,8 m.

Se realizará el análisis sobre una columna que dará como resultado el perfil del soporte, las fuerzas del sistema se muestran en la figura 27.

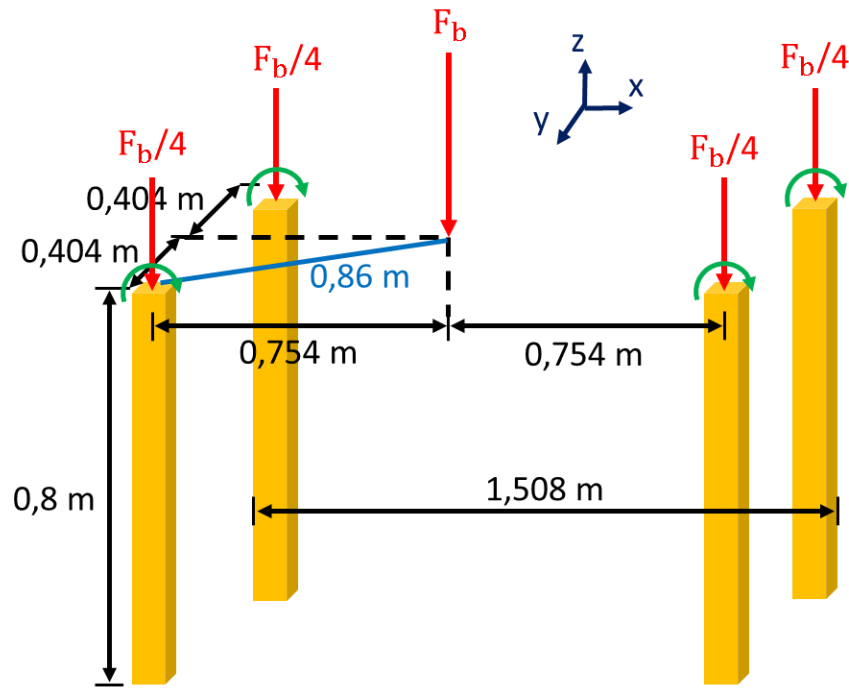


Figura 27. Fuerzas aplicadas sobre los soportes.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

En la figura 27 se encuentra lo que produce la fuerza F_b sobre cada columna, en ellas va a actuar una fuerza de compresión y un momento flector, la fuerza que ejerce la parte superior del horno será:

$$F_b = (300 \text{ kg})(9,81 \text{ m/s}^2) \rightarrow F_b = 2943 \text{ N}$$

El esfuerzo que habrá sobre la columna será:

$$\sigma_{\text{trab}} = \frac{P_{\text{cr}}}{A} + \frac{M_f}{S} \leq S_y \quad (\text{Ec. 50})$$

Dónde:

σ_{trab} = Esfuerzo al cual estará sometido la columna [MPa]

P_{cr} = Carga crítica sobre la columna [N]

A = Área de la sección transversal de la columna [mm^2]

M_f = Momento flector [Nmm]

S = Modulo de resistencia de la sección [mm^3]

Para seleccionar el perfil de soporte se aplicara la ecuación de Euler y luego se comprueba si el perfil seleccionado es correcto mediante la ecuación 50:

$$P_{cr} = \frac{n \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{h^2} \quad (\text{Ec. 51})$$

Dónde:

n = Factor de fijación de extremos (vale si 1 ambos extremos están articulados, $\frac{1}{4}$ con uno empotrado y uno libre, 2 con uno empotrado y uno guiado, 4 con ambos extremos empotrados)

E = Modulo de Young [MPa]

A = Área de la sección transversal de la columna [m^2]

h = Altura de la columna [m]

Usando un acero estructural A36 se tiene $S_y = 250$ MPa y $E = 200$ GPa (anexo S). La carga crítica de pende del factor de seguridad, como es una aplicación no muy exigida se considerara un factor $N = 2$, entonces la carga crítica será:

$$P_{cr} = \frac{F_b}{4} \cdot N = \frac{2(2943 \text{ N})}{4} \rightarrow P_{cr} = 1471,5 \text{ N}$$

En esta columna la parte de arriba está empotrada con el horno y la parte de abajo está guiada por un vástago de nivelación, por lo tanto el factor n que corresponde es $n = 2$. El perfil se selecciona según el momento de inercia, por lo tanto despejándolo de la ecuación 51:

$$I = \frac{P_{cr} \cdot h^2}{n \cdot \pi^2 \cdot E} = \frac{(1471,5 \text{ N})(0,8 \text{ m})^2}{2 \cdot \pi^2 (200 \times 10^9 \text{ Pa})} \rightarrow I = 239 \times 10^{-12} \text{ m}^4 = 239 \text{ mm}^4$$

Con ayuda del anexo R se selecciona un canal C100x11 con un momento de inercia de 1740 mm^4 , un área de 1370 mm^2 y un radio de giro $R = 11,3 \text{ mm}$. Para saber si el criterio seleccionado es correcto (Euler) se tiene que comprobar:

$$\pi \cdot \sqrt{\frac{2nE}{S_y}} > \left(\frac{h}{R}\right)_{\text{lim}} \rightarrow \pi \cdot \sqrt{\frac{2(2)(200 \times 10^9 \text{ Pa})}{250 \times 10^6 \text{ Pa}}} > \frac{800 \text{ mm}}{11,3 \text{ mm}} \rightarrow 177,7 > 71$$

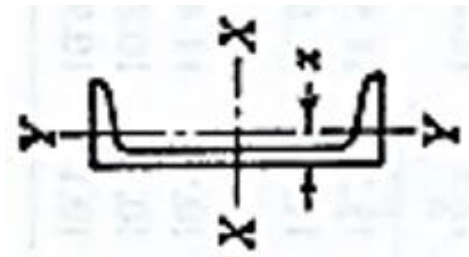


Figura 28. Posición del perfil de canal.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

En la figura 27 se observa que habrá momento flector por los dos ejes de la columna, por lo tanto hay que calcular el momento para cada eje y comprobar el esfuerzo en cada eje entonces:

$$M_{fy} = (2943 \text{ N})(404 \text{ mm}) \rightarrow M_{fy} = 1188972 \text{ Nmm}$$

$$M_{fx} = (2943 \text{ N})(754 \text{ mm}) \rightarrow M_{fx} = 2219022 \text{ Nmm}$$

Del anexo R se tiene un módulo de resistencia de $S_x = 37400 \text{ mm}^3$ y $S_y = 5520 \text{ mm}^3$

Ahora comprobando que con el perfil seleccionado no se sobrepase el esfuerzo de fluencia:

$$\sigma_{traby} = \frac{2454,5 \text{ N}}{1370 \text{ mm}^2} + \frac{1188972 \text{ Nmm}}{5520 \text{ mm}^3} \rightarrow \sigma_{traby} = 217,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{trabx} = \frac{2454,5 \text{ N}}{1370 \text{ mm}^2} + \frac{2219022 \text{ Nmm}}{37400 \text{ mm}^3} \rightarrow \sigma_{trabx} = 61,12 \text{ MPa}$$

Como en ambos planos no se supera el esfuerzo de fluencia del material (250 MPa) el canal seleccionado C100x11 es el correcto.

4.3.8 Diseño de los Componentes del Horno Utilizando Software de Ingeniería

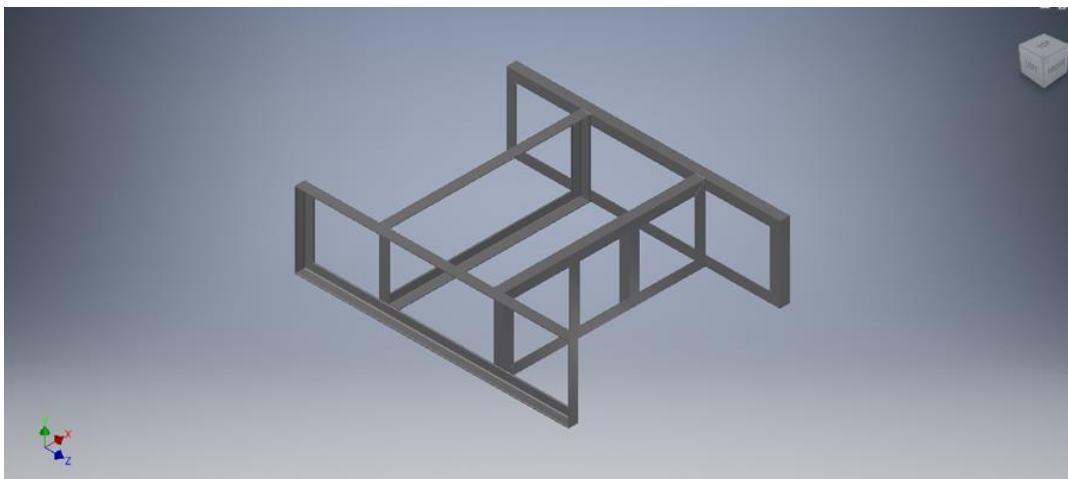


Figura 29. Estructura de la caja porta resistencia.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

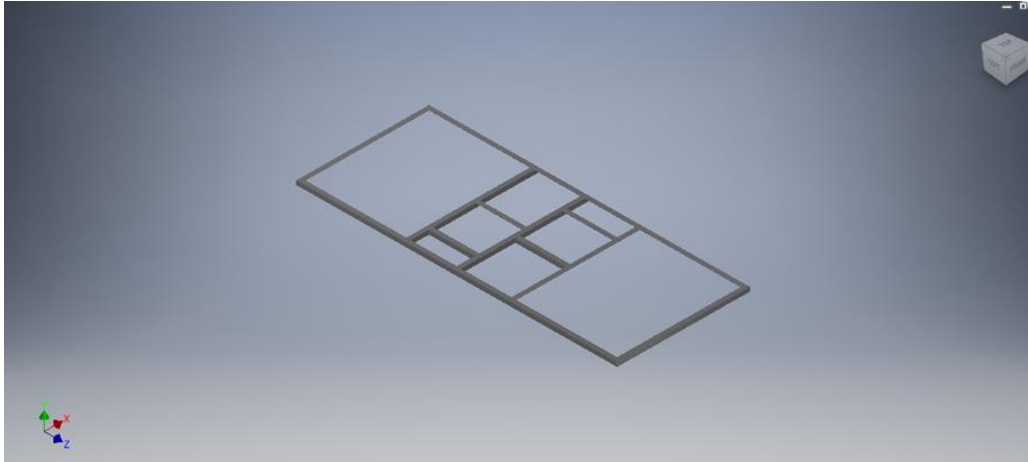


Figura 30. Refuerzo de la tapa superior de la caja.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

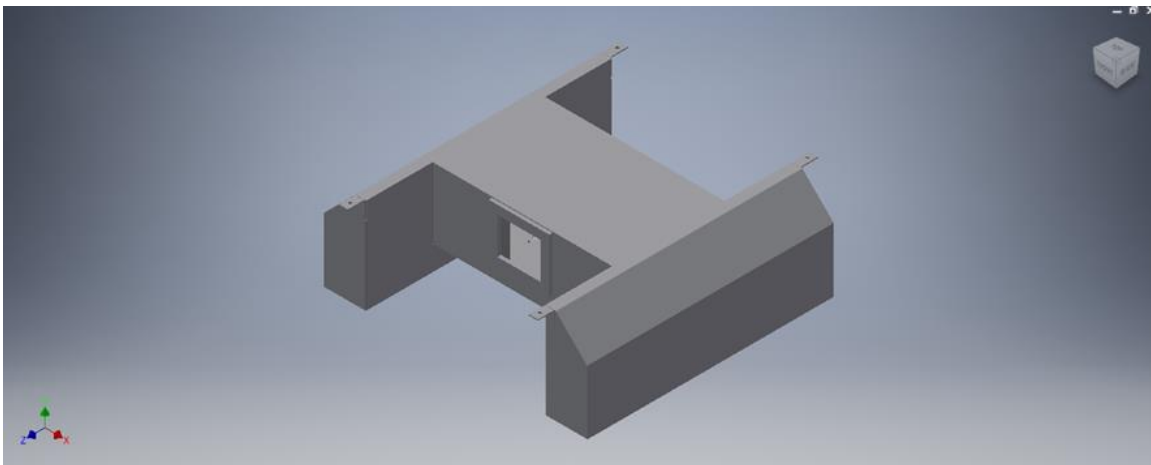


Figura 31. Caja porta resistencias vacía.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

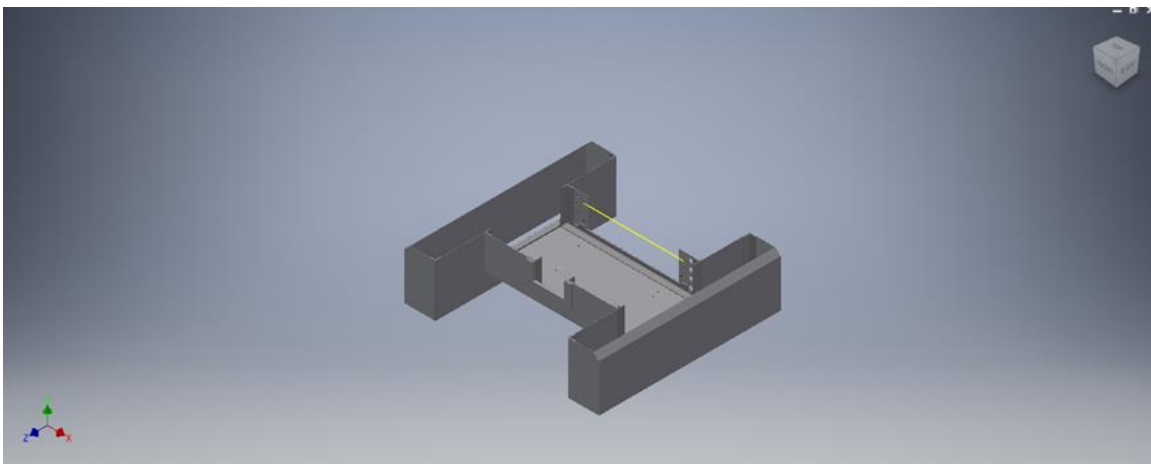


Figura 32. Corte de la caja porta resistencias vacía.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

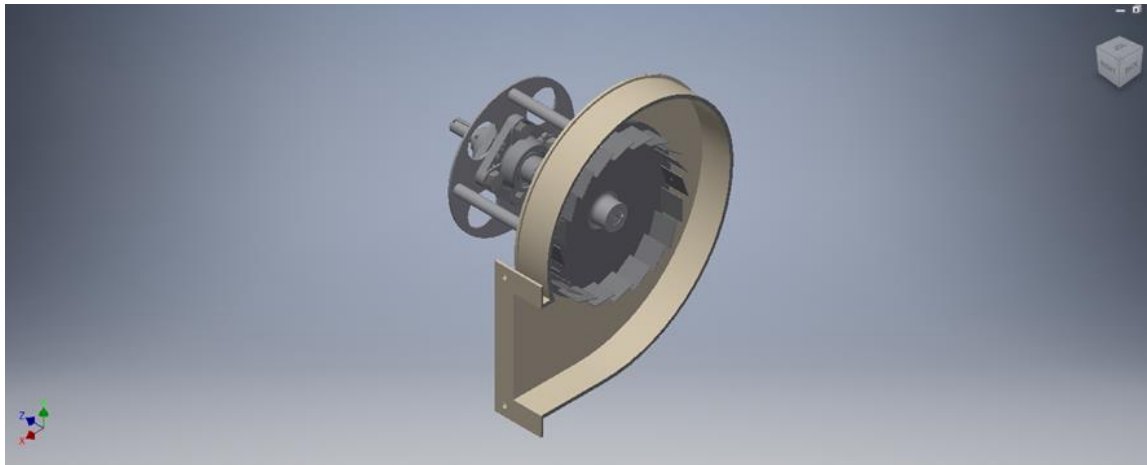


Figura 33. Forma del ventilador centrífugo.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

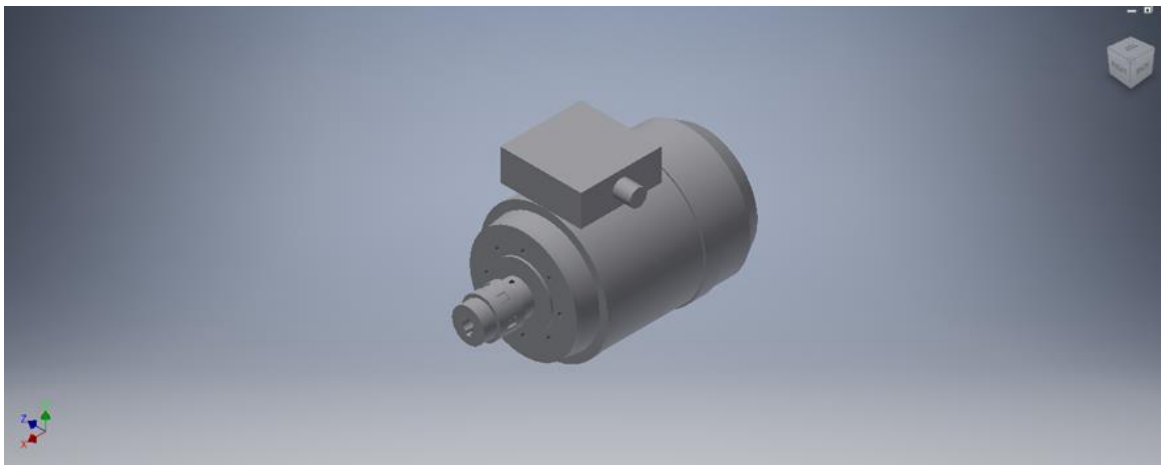


Figura 34. Motor y acople.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

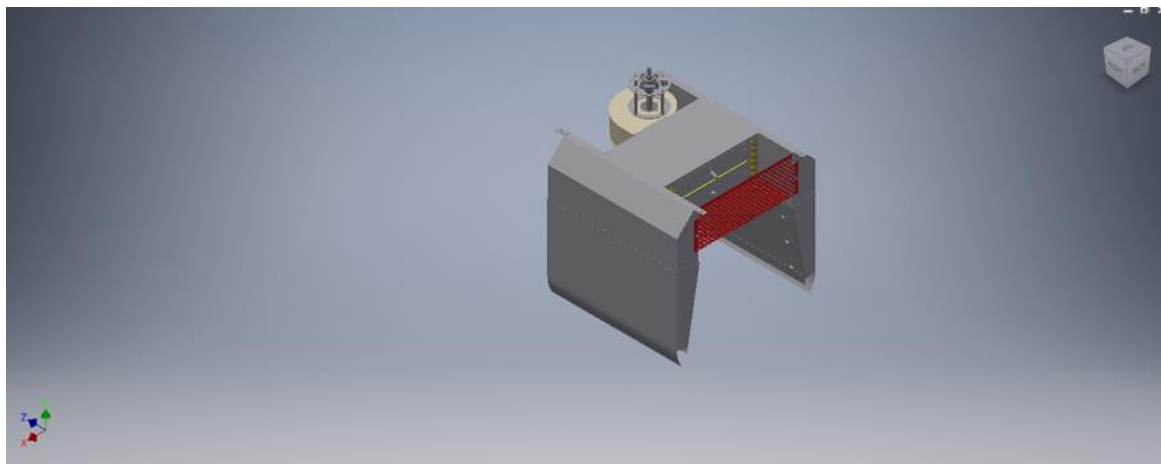


Figura 35. Sistema de calentamiento.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

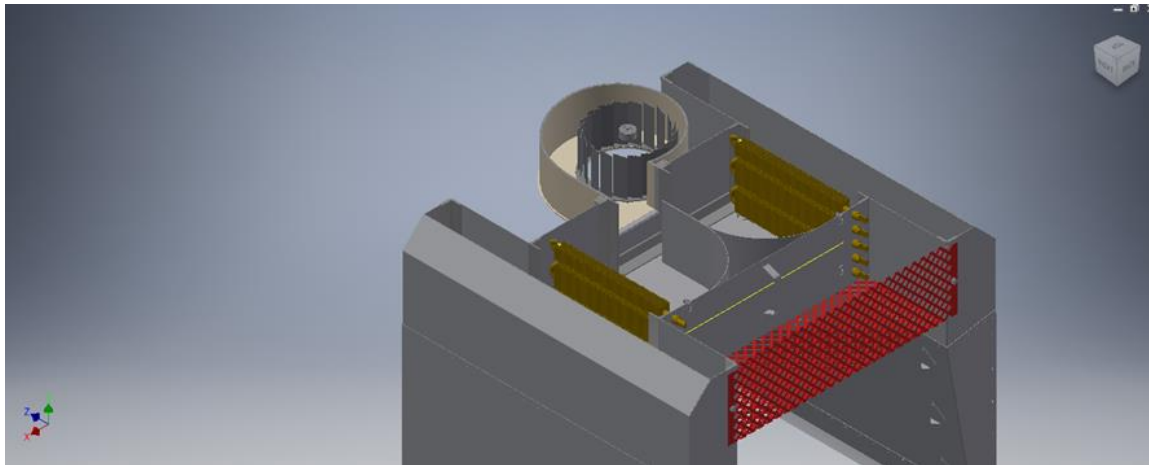


Figura 36. Corte superior del sistema de calentamiento.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

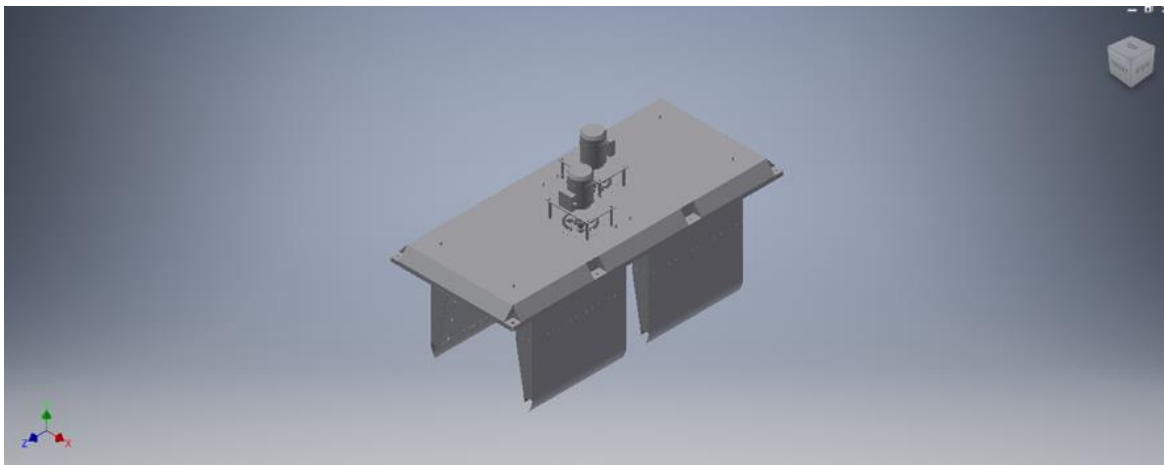


Figura 37. Tapa superior del horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

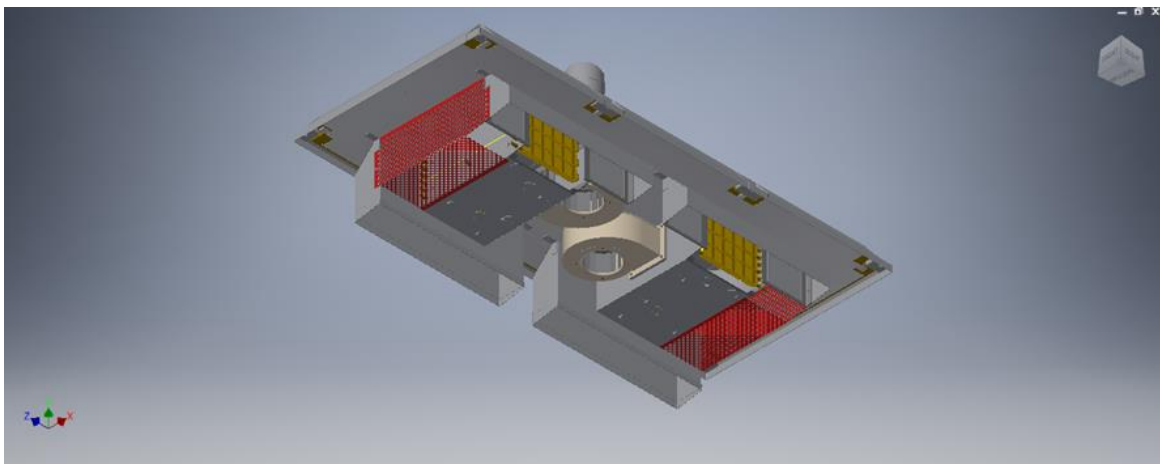


Figura 38. Corte de la tapa superior del horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

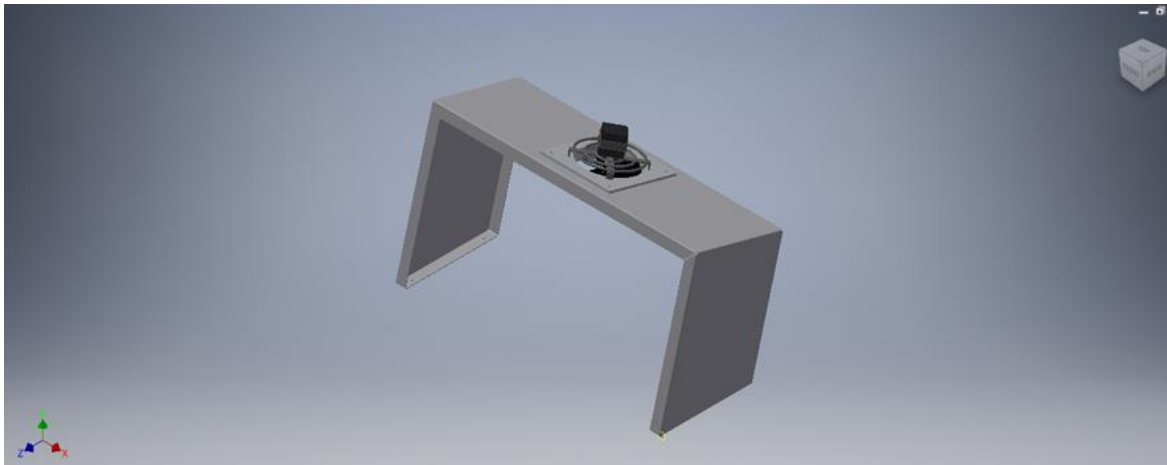


Figura 39. Estructura del ventilador de enfriamiento.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

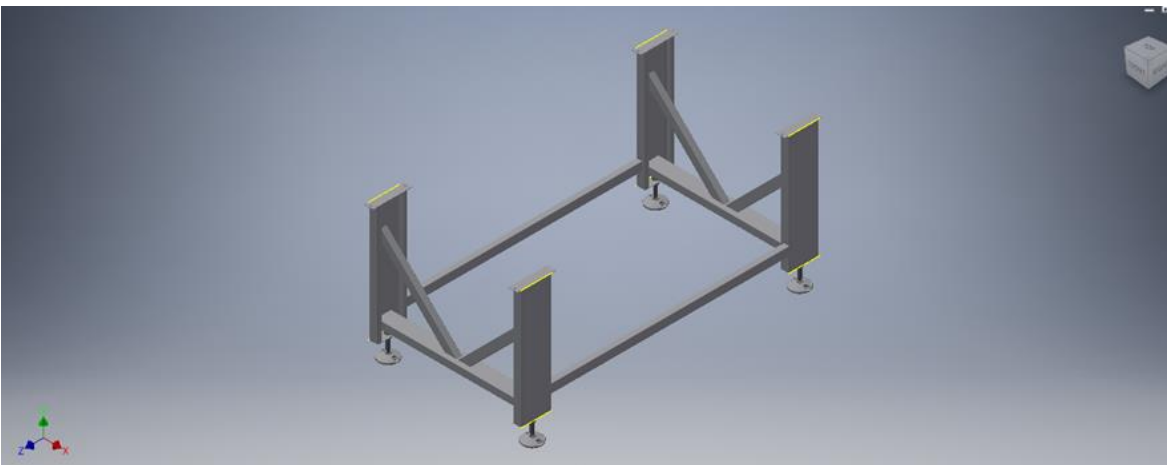


Figura 40. Estructura inferior del horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

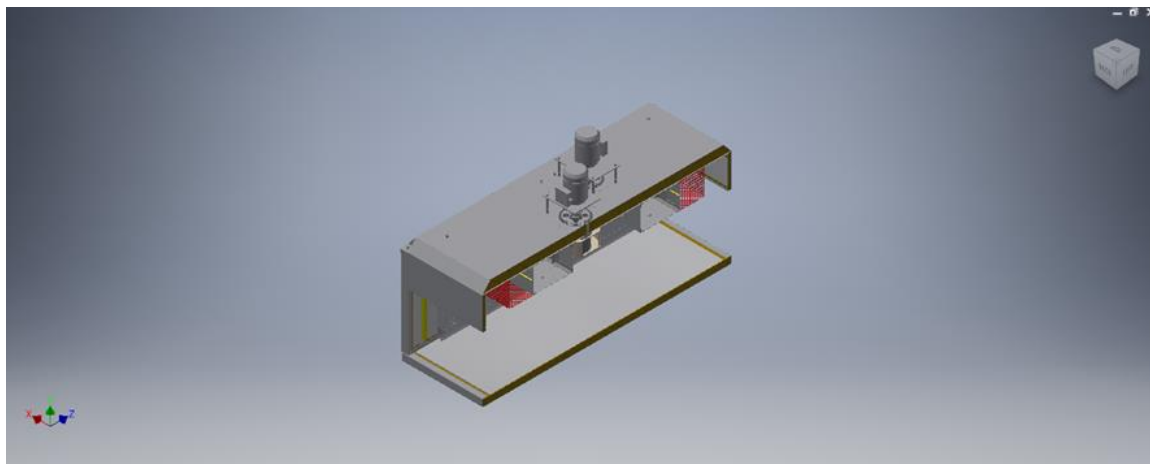


Figura 41. Corte longitudinal de la estructura superior del horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

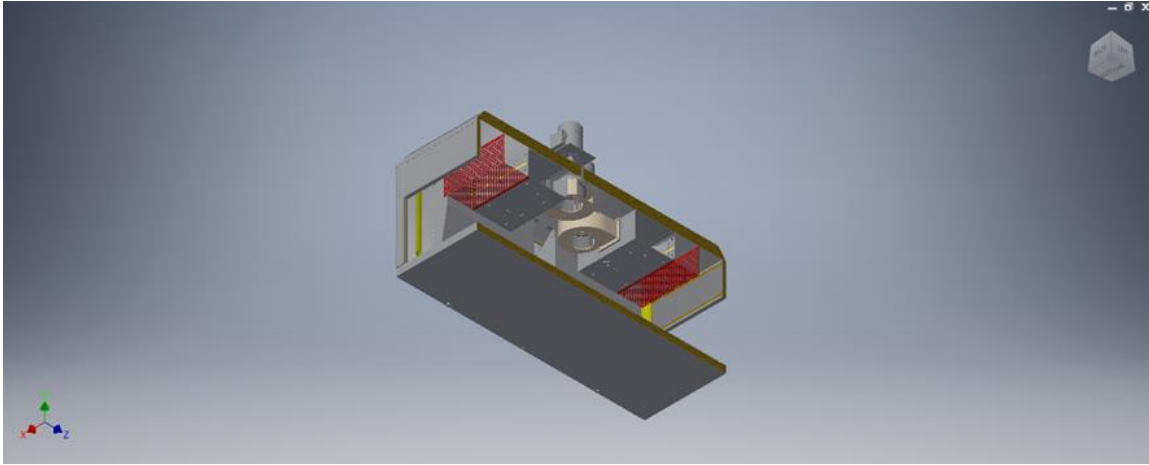


Figura 42. Vista inferior de la estructura superior del horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

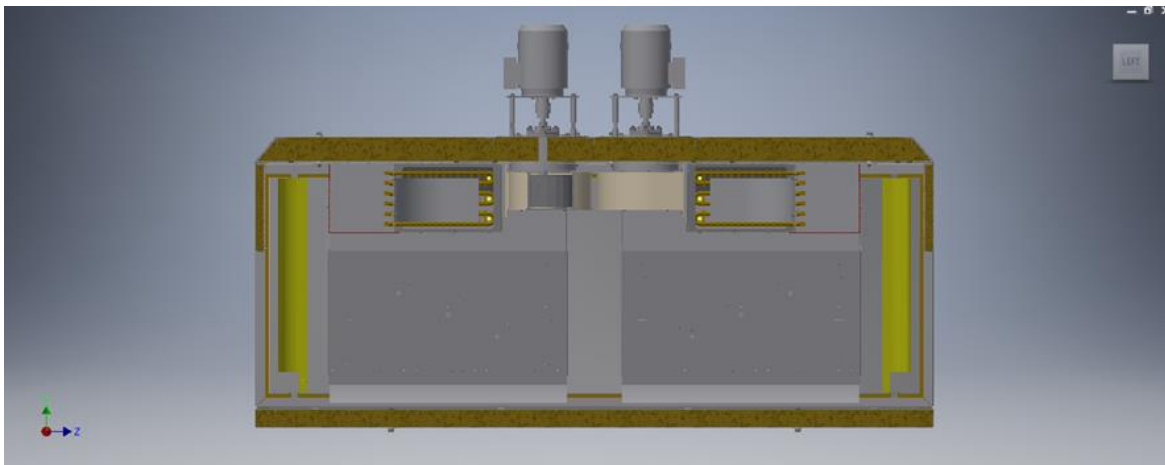


Figura 43. Vista lateral de la estructura superior del horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

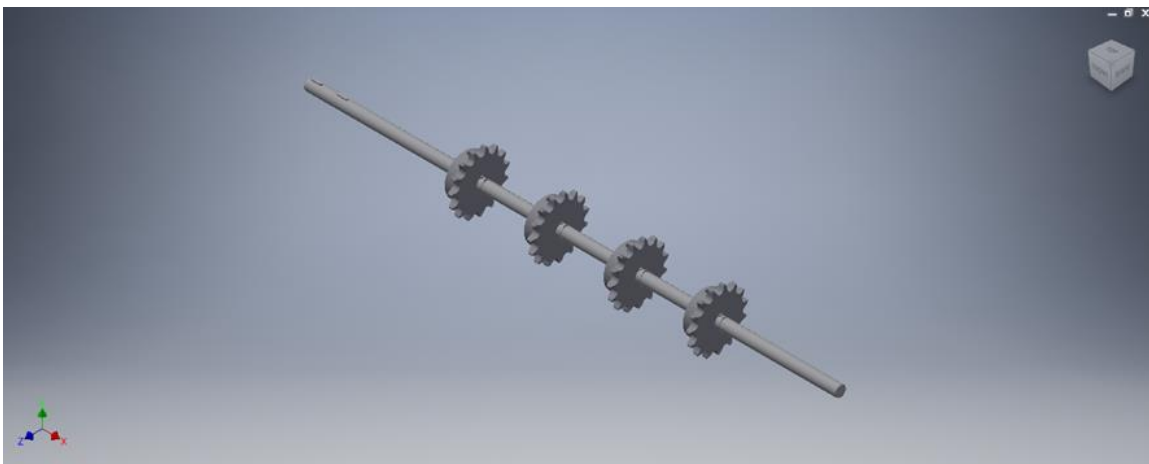


Figura 44. Eje motriz.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

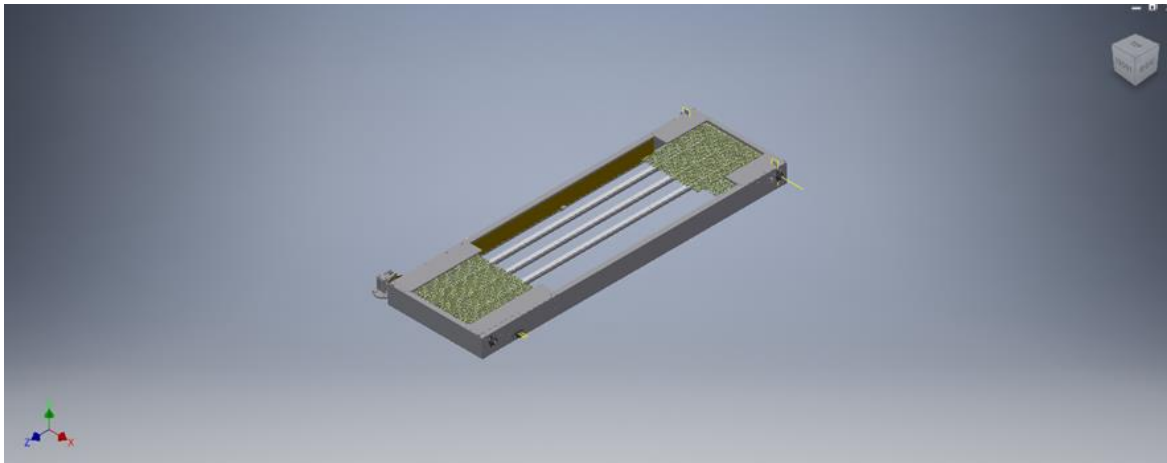


Figura 45. Sistema transportador.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

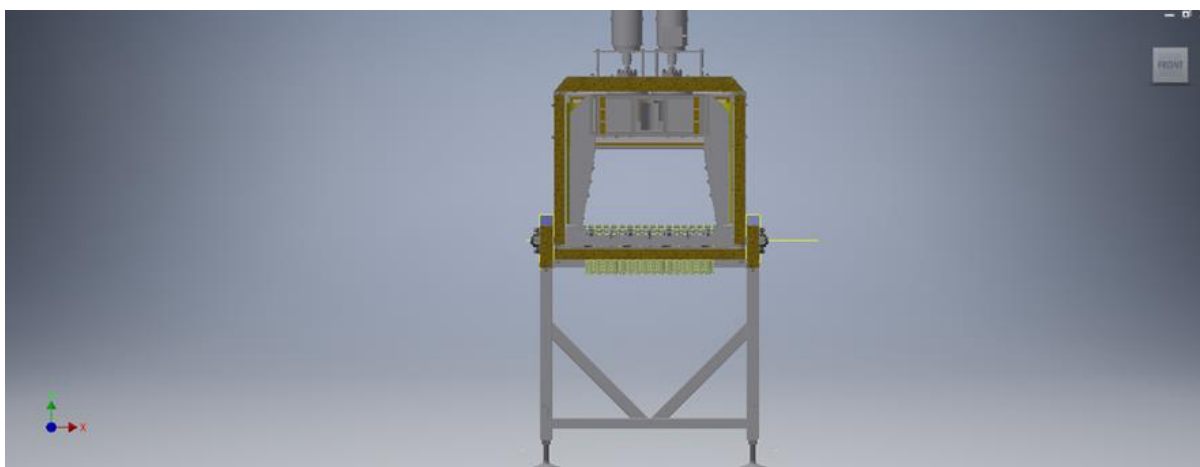


Figura 46. Corte transversal del horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

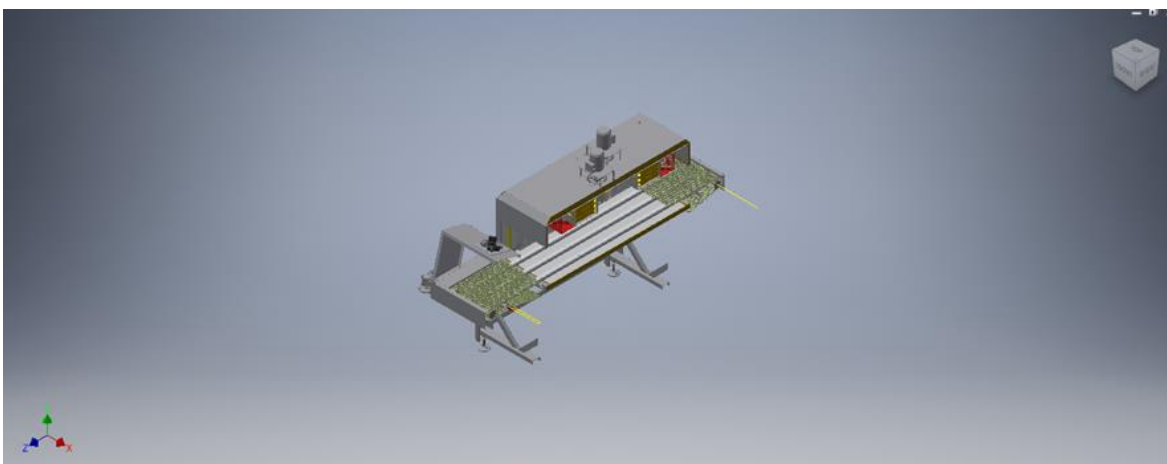


Figura 47. Corte longitudinal del horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

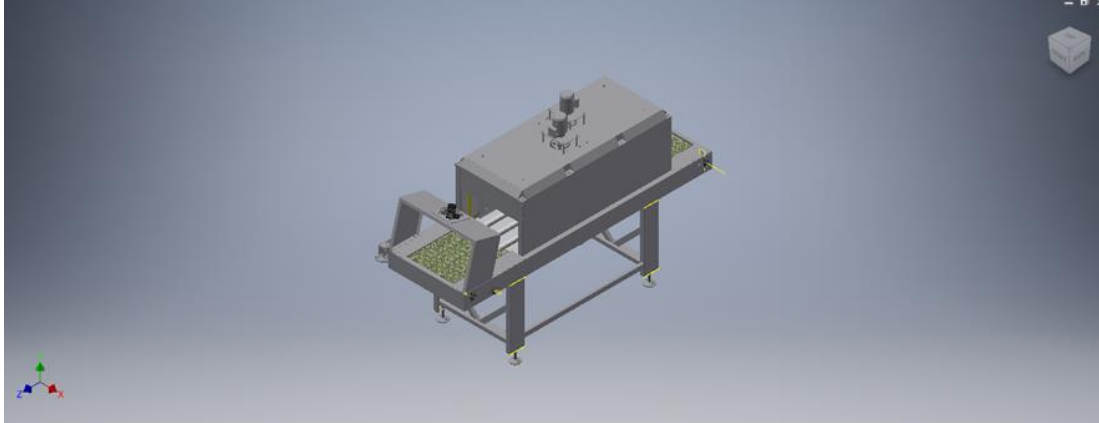


Figura 48. Ensamble final del horno.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

4.4 Evaluar la Viabilidad Económica, Ambiental y Social del Proyecto

La viabilidad es una cualidad de todo proyecto que mide las probabilidades de llevarse a cabo o de concretarse gracias a sus circunstancias o características, se trata de un recurso útil antes de la iniciación de un producto o proyecto. De este modo, se minimiza el margen de error porque todas las circunstancias vinculadas a los proyectos son estudiadas. Por estos aspectos es muy importante esta sección porque indicará si el diseño propuesto es factible para ser realizado, por lo tanto se procederá a determinar la viabilidad económica, ambiental y social del proyecto propuesto.

4.4.1 Viabilidad Económica del Proyecto

De acuerdo a González, L. y Vidaud, I. (2009) “La viabilidad económica es una condición que evalúa la conveniencia de un proyecto, atendiendo a la relación que existe entre los recursos empleados para obtenerlo y aquellos de los que se dispone”. (p. 28).

Esto determina el potencial que tiene un proyecto empresarial y es la base sobre la que se debe edificar cualquier negocio. El proyecto es viable, desde el punto de vista económico, sí, cumple con las especificaciones requeridas utilizando la menor cantidad de recursos, en la tabla 25 se pueden observar los costos de los materiales utilizados en el horno.

Tabla 25. Costos del horno.

Cantidad	Tipo de medida	Descripción	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
12	Unidad	Resistencia eléctrica de 850 W	31	372
2	Unidad	Ventilador Centrifugo	176	352

Continuación Tabla 25. Costos del horno.

2	Unidad	Motor de 0,12 kW	50	100
1	Unidad	Ventilador axial	30	30
1	Unidad	Motor de 8 W	12	12
1	Unidad	Cortina de teflón 1x1 m con 0,25 mm espesor	39	39
1	Unidad	Motorreductor de 0,14 kW	153	153
5	Metro	Malla metálica de transportación con 1" de paso	43	215
8	Unidad	Piñón ASA 80 con Z = 15	25	200
2	Unidad	Eje de piñones 12 mm	20	40
3	Unidad	Chumacera de 12 mm	20	60
1	Unidad	Eje de guía 10 mm	16	16
2	Unidad	Chumacera de 10 mm	12	24
6	Metro	Guía de desgaste	12	72
4	Metro	Perfil C180x70x2	5	20
6	Metro	Perfil C160x60x2	3	18
1	Rollo	Fibra de vidrio Aislanglass R122	100	100
4	Unidad	Lamina de acero AISI 304 1,22x2,44 m con e = 2 mm	386	1544
60	Unidad	Tornillo Allen avellanado M6 x 30 con tuerca	0,24	14,4
32	Unidad	Tornillo HEX M6x1x55 con tuerca	0,3	9,6
80	Unidad	Tornillo HEX M8x1,25x20 con tuerca	0,47	37,6

Continuación Tabla 25. Costos del horno.

16	Unidad	Tornillo HEX M10x1,5x40 con tuerca	0,6	9,6
60	Unidad	Arandela aislante de bakelita	0,06	3,6
3	Unidad	Acople	7	21
0,5	Metro	Barra SAE 1018 d = 10 mm	24	12
-	-	Automatización y control	-	500
Costo total de materiales				3975
Mano de obra 25% del costo				994
Inversión total				4969

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)



Figura 49. Horno comercial 1.

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/>



Figura 50. Horno comercial 2.

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/>



Figura 51. Horno comercial 3.

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/>

La potencia de los túneles que aparecen en las figuras es de entre 9 y 12 kW para así poder medir el túnel propuesto con base en otros con potencia similar. En el cuadro 8 se compararán los precios de los túneles (sin contar los costos de envío) con el precio del túnel propuesto.

Cuadro 8. Comparación entre hornos termoencogibles.

	Horno propuesto	Horno comercial 1	Horno comercial 2	Horno comercial 3
Costo	4969\$	5800\$	5000\$	5000\$
Diferencia	0	-831\$	-31\$	-31\$

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Como se puede ver en el cuadro, el precio del horno propuesto resulta ventajoso en comparación a los otros mostrados, por lo tanto se considera que este proyecto es viable.

4.4.2 Viabilidad Ambiental del Proyecto

La viabilidad ambiental es una condición que evalúa el resultado de cualquier actividad o proyecto que frena o minimiza el impacto de un evento peligroso que imposibilita el uso, deteriora o destruye bienes y servicios ambientales que son utilizados para mejorar la calidad de vida del ser humano (González, L. y Vidaud, I., 2009, p. 28).

Consiste en un estudio que determina tanto los impactos positivos y negativos del proyecto sobre el medio ambiente y la sociedad, y si los últimos pueden ser compensados o neutralizados en pro del desarrollo sostenible. De forma general se puede determinar la viabilidad ambiental de un proyecto por medio de los siguientes indicadores:

- Impacto sobre el medio físico (suelo, agua, aire, clima).
- Impacto sobre el medio biótico (el ser humano, la fauna y la flora).
- Impacto sobre el medio perceptual (paisaje, recursos científico-culturales).

De acuerdo a los indicadores mostrados anteriormente, en el cuadro 9 se mostrarán las ventajas sociales que brinda el proyecto propuesto.

Cuadro 9. Indicadores de viabilidad ambiental del proyecto.

Indicador	Aporte del proyecto
Impacto sobre el medio físico	El diseño propuesto tiene un impacto muy bajo sobre el medio físico que lo rodea, al tener un bajo peso no perjudica los suelos y a su vez no utiliza fluidos peligrosos para el ambiente, también es un equipo que no desprende sustancias dañinas al agua o aire su único posible efecto en el clima de trabajo es expulsar aire medianamente caliente cuando entra o sale un paquete.
Impacto sobre el medio biótico	El túnel es un equipo muy compacto el cual cumple su función de manera interna sin alterar el ambiente externo, su único efecto menor que produce es el ruido del movimiento de la malla y los ventiladores, pero estos sonidos se encuentran en un rango de decibelios sano para el oído humano.
Impacto sobre el medio perceptual	El túnel tiene un impacto prácticamente nulo sobre el paisaje y sus alrededores, esto se debe a que ocupa un volumen muy reducido de espacio y puede ser fácilmente desmontable.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

Además de lo expuesto en el cuadro, este equipo cumple la norma ISO 14001, donde se consigue una mejora y optimización sustancial de la gestión de recursos. Esto implica que se reduzca la posibilidad de que ocurran ciertos riesgos ambientales como podrían ser emisiones de gases nocivos, derrame de sustancias tóxicas, uso de productos no aptos para el consumo humano, y también se utiliza una menor cantidad de plástico para embalar en comparación a usar un film stretch.

4.4.3 Viabilidad Social del Proyecto

De acuerdo a González, L. y Vidaud, I. (2009) “La viabilidad social es una condición que evalúa el impacto de un proyecto sobre diferentes factores sociales: vidas salvadas, las afectaciones psicológicas a la sociedad, mejora de las condiciones de vida y trabajo, entre otros” (p. 28).

Los proyectos sociales son aquellos que van enfocados a la mejora de las condiciones de vida de un entorno específico. La viabilidad social del proyecto se puede determinar de acuerdo al cumplimiento de los siguientes indicadores:

- **Emergencia:** Este indicador mide el nivel de urgencia que tenga el proyecto. Hay obras que se diseñan en función del carácter inmediato de un contexto.
- **Número de beneficiarios directos:** Un proyecto social también es viable cuando el beneficio es genérico. Si solo reporta ventajas para unos cuantos, deja de ser social para convertirse en exclusivo.
- **Soluciones:** Si las soluciones son eficaces y oportunas, el proyecto tendrá todas las garantías de ser exitoso. Todo proyecto social debe suponer en sí mismo la solución a un objetivo concreto o que, al menos, cubra la necesidad para la que ha sido ejecutado.
- **Sostenibilidad:** El proyecto social debe medirse tanto en sus posibilidades previas como en la manera en que se va a sostener para garantizar su sostenibilidad en el tiempo.

De acuerdo a los indicadores mostrados anteriormente, en el cuadro 10 se mostrarán las ventajas sociales que brinda el proyecto propuesto.

Cuadro 10. Indicadores de viabilidad social del proyecto.

Indicador	Aporte del proyecto
Emergencia	En una sociedad donde el consumo y la demanda va en aumento el proyecto presentado ofrece una forma de aumentar la calidad de los productos ofrecidos así como también le permite mantenerse competitivo frente a otras empresas.
Beneficiarios Directos	El túnel de termocontracción es un equipo que beneficia a todas las personas involucradas en el sitio de trabajo, gracias a él se puede tener una mayor producción en menor tiempo beneficiando a los dueños, pero también aligera la carga de trabajo de los obreros porque disminuye el número de pasos necesarios para alcanzar un mismo objetivo.

Continuación Cuadro 10. Indicadores de viabilidad social del proyecto.

Soluciones	La implementación del túnel es la mejor solución cuando se habla en términos de embalaje, utiliza un material de bajo costo con capacidad reciclable, se puede ajustar a la producción que requiera la empresa y la forma de utilizarlo es muy sencilla.
Sostenibilidad	El túnel no es un equipo que necesite un mantenimiento excesivo ni continuo, y a su vez al poseer pocas piezas móviles y de fácil recambio los costos por mantenimiento son inferiores a otros equipos haciendo que este pueda tener una gran durabilidad.

Fuente: Brito, J. y Lovera, S. (2023)

CONCLUSIONES

Finalmente, se destaca que el diseño del horno de termocontracción no solo beneficia a la empresa de distribución de bebidas en San Diego, sino que también tiene el potencial de promover el desarrollo de la industria venezolana. Al construir y utilizar estos hornos en el país, se fomenta la producción nacional y se reducen las importaciones de equipos similares. Esto no solo contribuye a la economía local, sino que también impulsa el conocimiento y la experiencia en Ingeniería Mecánica a nivel nacional.

Mediante la evaluación de los procedimientos existentes, se identificó áreas de mejora y oportunidades para optimizar el proceso. Este análisis permitió establecer una base sólida para el diseño del horno de termocontracción, ya que se tuvieron en cuenta las necesidades y desafíos específicos de la empresa. Al finalizar todos los cálculos pertinentes al horno se encontró que debe cumplir con las siguientes características:

- Las dimensiones del túnel son 0,52 m de alto, 0,7 m de ancho y una longitud de 1,4 m.
- Las paredes están compuestas por una lámina interna y externa de acero inoxidable con 2 mm de espesor, entre las dos láminas se encuentra 50 mm de fibra de vidrio como material aislante.
- El sistema requiere una energía de 4419,21 W para cumplir con su función. Por ello, se utilizarán 2 cajas que contengan 6 resistencias de 850 W entregando 5100 W de energía por caja.
- Cada caja utiliza un ventilador centrífugo con un flujo de aire superior a 174 m³/h.
- El sistema de transportación tiene una velocidad de 4,1 m/min la cual será transmitida por medio de una malla con paso 80 de acero galvanizado, esta tendrá un ancho de 500 mm y será movida mediante un eje con 4 piñones ASA 80 de 15 dientes.
- La estructura que soporta el túnel será de un perfil de canal C100x11

Por último se realizó una evaluación de la viabilidad económica, ambiental y social del proyecto. Al concluir con los análisis mencionados anteriormente se concluyó que el horno propuesto cumple con las pautas requeridas confirmando que es un proyecto factible con una inversión total de 4969 \$, además es social y ambientalmente viable por lo que es el proyecto ideal a llevar a cabo para solucionar la formulación planteada.

La combinación de beneficios técnicos, económicos y sostenibles hace que este proyecto sea una propuesta atractiva para la empresa y para la industria en general.

RECOMENDACIONES

Una vez identificada la problemática y presentada una propuesta de solución, se realizan las siguientes recomendaciones:

- Implementar el diseño propuesto del horno. Realizar pruebas piloto y ajustes necesarios para garantizar su correcto funcionamiento y su integración con los procesos existentes.
- Capacitar al personal de la empresa en el manejo y operación del nuevo horno, además de proporcionar la formación necesaria para garantizar una utilización eficiente y segura de la maquinaria, así como para maximizar los beneficios obtenidos.
- Monitorear y evaluar periódicamente el desempeño del horno y realizar seguimiento a través de indicadores clave de rendimiento, como la eficiencia energética, la reducción de desperdicios y la calidad del embalaje, con el fin de identificar oportunidades de mejora continua.
- Realizar un seguimiento de los indicadores económicos, ambientales y sociales. Se tiene que evaluar regularmente el retorno de la inversión, el impacto en la reducción de residuos y la satisfacción de los empleados, así como los beneficios para la empresa y la comunidad en general.
- Compartir los resultados y experiencias obtenidos con la implementación del horno de termocontracción a través de publicaciones técnicas y participación en eventos especializados. Contribuir al conocimiento científico y técnico en el campo de la ingeniería mecánica y promover la difusión de buenas prácticas en el embalaje de envases.

REFERENCIAS

- Álvarez, D. (2011). **Estudio de embalaje de productos con película termoencogible PVC en la empresa leito para reducir tiempo de producción** [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1603>
- Américas Maquinaria. (s.f.). **Plástico Termoencogible Poliolefina**. <https://americasmaquinaria.com/producto/rollo-termoencogible-de-poliolefina-10%C2%A8x-15micras/>
- Arias, F. (2016). **El Proyecto de Investigación**. 6ta edición. Episteme. Caracas, Venezuela.
- Besterfield, D. (2009). **Control de Calidad**. 7ma edición. Pearson Educación. México D.F, México.
- Briceño, J. y Silva, C. (2022). **Plantear un sistema alternativo como fuente de energía para el diseño y funcionamiento de un horno crematorio dentro de los estándares ambientales** [Tesis de pregrado inédita]. Universidad José Antonio Páez.
- Bustamante, J. y Valbuena, J. (2012). **Caracterización del flujo pulsante vascular mediante observaciones in vitro en modelos biológico y mecánico**. Archivos de cardiología de México. N° 82. pp. 265-272. <http://dx.doi.org/10.1016/j.acmx.2012.09.001>
- Carballo, C. (2018). **Transferencia de Calor**. [Recurso Educativo]. Recuperado de <https://hdl.handle.net/2238/10176>
- Cascante, M. (2012). **Acerca del PET**. [Recurso Educativo]. Recuperado de <https://hdl.handle.net/10669/15405>
- Castro, L. y Cortés, J. (2022). **Modelo matemático de un horno resistivo para termoformado de láminas de polipropileno**. Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología, N° 28, pp. 86-97. <https://doi.org/10.17163/ings.n28.2022.08>
- Connor, N. (2020). (7 de enero de 2020). **¿Qué es la convección? Transferencia de calor por convección: definición**. Thermal Engineering. <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-conveccion-transferencia-de-calor-por-conveccion-definicion/>
- Dyson, R.G. (2004). **Strategic Development and SWOT Analysis at the University of Warwick**. Revista European Journal of Operational Research. N° 152. pp. 631-640. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00062-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00062-6)
- Esapyronics. (s.f.). **Soluciones para Tubos Radiantes**. <https://www.esapyronics.com/es/engineering/radiant-tubes/>

- Fernández, S. y Torralba, A. (2021). Revista Eureka: **El cuaderno de campo como eje del aprendizaje de naturaleza cercana en Educación Infantil.**
- García, F. (2009). **La investigación tecnológica. Investigar, idear e innovar en Ingenierías y Ciencias Sociales.** Editorial Limusa. México D.F., México.
- González, L. & Vidaud, I. (2009). Revista Ingeniería: **Factores para evaluar la viabilidad de proyectos de conservación de edificaciones esenciales, no productivas, en zonas sísmicas.** Vol. 13, N° 1. pp. 25-39. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46713055003>
- Grupo Plastilene. (s.f.). **Películas termoencogibles.**
https://grupoplastilene.com/gpl_product/peliculas-termoencogibles/?doing_wp_cron=1674514333.4884190559387207031250
- Guaqueta, J. (2018). **Diseño de un control automatizado de temperatura para un horno de secado de pintura electrostática** [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/141
- Holman, J. (1999). **Transferencia de calor.** 1era edición. Compañía Editorial Continental, S.A. México D.F., México.
- Hurtado, J. (2012). **El proyecto de investigación: Comprensión holística de la metodología y la Investigación.** 7ma edición. Ediciones Quirón. Caracas, Venezuela.
- Hurtado, J. (2000). **Metodología de la Investigación Holística.** 3era edición. Inversiones Cepal. Caracas, Venezuela.
- Losada, A. (1997). **El envase y embalaje, Historia, Tecnología, Ecología.** [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/101222>
- Martínez, M. (2020). **Diseño de un horno para tratamientos térmicos de aceros para la empresa SMO Servicios Mecánicos y Metalúrgica** [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10138>
- Mayancela, R. (2004). **Diseño de un Túnel de Termocontracción para Películas Termoencogibles usado en el Embalaje de Productos** [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/4274>
- Palella y Martins, (2006). **Metodología de la investigación cuantitativa.** 2da edición. Editorial Fedupel. Caracas, Venezuela.

- Palomo, M. (2017). **Aislantes térmicos: criterios de selección por requisitos energéticos** [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Madrid]. Recuperado de <https://oa.upm.es/47071/>
- Plastik21. (s.f.). **Bobinas para Empaque Termoencogible**. <https://plastik21.com/index.php/termoencogible/>
- Resista SAS. (s.f.). **Resistencias en espiral de alambre montadas en electrodos de cerámica**. <https://www.resistalda.com/resista/vp5810/sp/resistencias-espiral-alambre-electrodos>
- Rodríguez, A. (2021). **Ventiladores axiales frente a ventiladores centrífugos**. Recuperado de: <https://www.diarioelectronico hoy.com/ventiladores-axiales-frente-a-ventiladores-centrifugos-cual-es-la-diferencia/>
- Romero, R, Estuardo, A., Reyes, R. & Mateo, K. (2022). **Ingeniería inversa y optimización de un horno de vacío para los laboratorios de Ciencia de los Materiales y Procesos de Manufactura del DCEM** [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/29214>
- Sampieri, R. Collado, C. y Baptista, P. (2010). **Metodología de la investigación**. 5ta edición. McGraw Hill Interamericana. México D.F., México.
- Sánchez, J. (2018). **Selección y acoplamiento de un micro horno de inducción** [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/16005/2/Tesis.pdf>
- Sintac. (27 de mayo de 2022). **¿Qué son los termoplásticos?** <https://sintac.es/que-son-los-termoplasticos/>
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). **El proceso de la Investigación Científica**. 4ta edición. Editorial Limusa. México.
- Uline.mx. (s.f.). **Guía de Película Termoencogible**. <https://es.uline.mx/guide/ShrinkWrapGuides.htm>
- Vilchez, N (s.f) **Estrategias Creativas en el Diseño Mecánico**. Universidad de Carabobo.
- Yunus, Çengel & Afshin, Ghajar. (2011). **Transferencia de calor y masa**. 5ta edición. McGraw Hill Interamericana. México D.F., México.
- Zambrano, G. (2007). **Diseño de un Túnel de Termocontracción para Etiquetar botellas con Película PVC** [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral].

APÉNDICES

Apéndice A: Guion de Entrevista



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

INSTRUCCIONES PARA LA GUIA DE ENTREVISTA

- Indique su función dentro de la empresa
- Proceda a leer detenidamente cada una de las preguntas
- Responda de manera objetiva
- En caso de dudas, consulte con la persona encarga de aplicar el cuestionario

N°	Guion de entrevista
1	¿En qué forma funciona el actual proceso de embalaje en la empresa?
2	¿Que manifiestan los compradores ante la mala presentación del producto?
3	¿Qué consecuencias puede ocasionar un mal embalaje de producto?
4	¿Con que finalidad se planteó la idea de implementar un sistema de termocontracción?
5	¿En su opinión, cómo funcionan los tiempos de embalaje?
6	¿Cómo son los costos en el sistema de embalaje?
7	¿Cuál es el material del producto que se desea embalar?
8	¿Qué cantidad de productos se desea embalar a la vez?
9	¿Qué dimensiones tiene el producto a embalar?



Apéndice B: Cuadro técnico metodológico
REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CUADRO TÉCNICO METODOLÓGICO

OBJETIVO GENERAL: “Diseñar un horno de termocontracción para mejorar el proceso de embalaje de envases en una empresa de distribución de bebidas en San Diego, estado Carabobo”

OBJETIVO ESPECÍFICO	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍTEMS	TECNICAS E INSTRUMENTOS
Diagnosticar la situación actual de embalajes en la empresa.	Características del proceso de embalaje en la empresa.	Condiciones de los embalajes en la empresa.	Calidad	1 y 2	Entrevista Estructurada con Guía de Preguntas
			Eficiencia	3 y 4	
			Tiempo	5	
			Costos	6	
			Material	7	
			Volumen	8 y 9	

Apéndice C: Notas del diario de campo

Puntos a Tener en cuenta

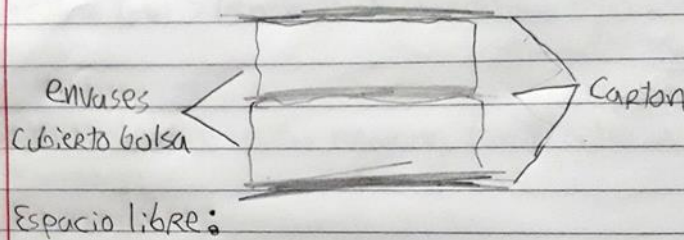
Se usan envases de 1/2 lts, 1 lts y 2 lts.

A veces embalan latas por encargo.

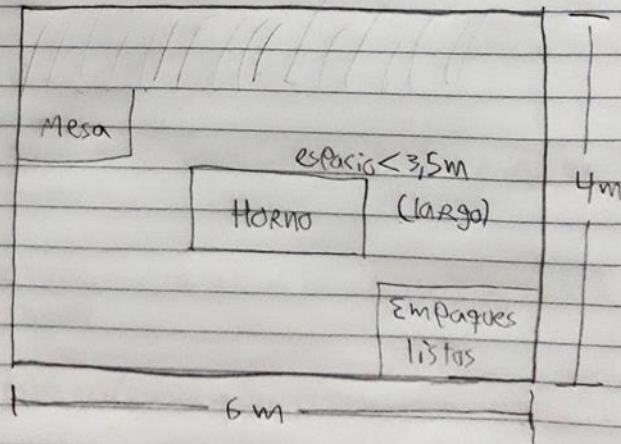
Sitio limpio

Usan equipos de trabajo de dos personas

Pueden hacer mas de 500 empagues diarios



Espacio libre:



NO SOBREPASAR LARGO DE 3,5m

El envase de 1 lts tiene aprox $d=8\text{cm}$ y $h=30\text{cm}$

" " " 2 lts tiene aprox $d=9\text{cm}$ y $h=33\text{cm}$

" " " 1/2 tiene aprox $d=6\text{cm}$ y $h=24\text{cm}$

Todos los envases con $e=1\text{mm}$

Si el horno sale mas de 7000 \$ No te va a servir

Apéndice D: Validación del Instrumento



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

Quien suscribe, Andira Rodríguez A., titular de la cédula de identidad número N° V-11.547.002, de profesión: Ingeniero, mediante la presente se hace constar que las Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos del Trabajo de grado titulado: **DISEÑO DE UN HORNO DE TERMOCONTRACCIÓN PARA LÁMINAS DE PLÁSTICO TERMOENCOGIBLE PARA EL EMBALAJE DE ENVASES**, realizado por: Brito José y Lovera Samuel titulares respectivamente de la cédulas de identidad número V-30.053.553 y V-29.915.183, aspirante al Título de Ingeniero Mecánico, reúnen los requisitos suficientes, necesarios para ser válidos y son aptos para alcanzar los objetivos que se plantean en la investigación.

Atentamente:

Firma:

C.I: 11-547.002



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		
6	✓			✓		
7	✓			✓		
8	✓			✓		
9	✓			✓		

Fecha: 03/02/2023


Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	Ingeniero Mecánico Doctora en Ciencias de la Educación
--	---



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

Quien suscribe, Wilmer Saiz, titular de la cédula de identidad número N° V- 7132496, de profesión: Ing. Electricista, mediante la presente se hace constar que las Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos del Trabajo de grado titulado: **DISEÑO DE UN HORNO DE TERMOCONTRACCIÓN PARA LÁMINAS DE PLÁSTICO TERMOENCOGIBLE PARA EL EMBALAJE DE ENVASES**, realizado por: Brito José y Lovera Samuel titulares respectivamente de la cédulas de identidad número V-30.053.553 y V-29.915.183, aspirante al Título de Ingeniero Mecánico, reúnen los requisitos suficientes, necesarios para ser válidos y son aptos para alcanzar los objetivos que se plantean en la investigación.

Atentamente:

Firma:

C.I:

7132496



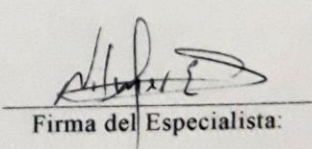
REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		Casi dicotómico
6	✓			✓		
7	✓			✓		
8	✓			✓		
9	✓			✓		

Fecha: 06/02/2023


Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:

Ing. Electrón. Espec. en Doc. para Educ. Sup.
MSc en Instrumentación



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

Quien suscribe, Manuel Figueroa, titular de la cédula de identidad número N° V-17315996, de profesión: Ing. Civil, mediante la presente se hace constar que las Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos del Trabajo de grado titulado: **DISEÑO DE UN HORNO DE TERMOCONTRACCIÓN PARA LÁMINAS DE PLÁSTICO TERMOENCOGIBLE PARA EL EMBALAJE DE ENVASES**, realizado por: Brito José y Lovera Samuel titulares respectivamente de la cédulas de identidad número V-30.053.553 y V-29.915.183, aspirante al Título de Ingeniero Mecánico, reúnen los requisitos suficientes, necesarios para ser válidos y son aptos para alcanzar los objetivos que se plantean en la investigación.

Atentamente:

Firma: Manuel Figueroa

C.I: 17315996



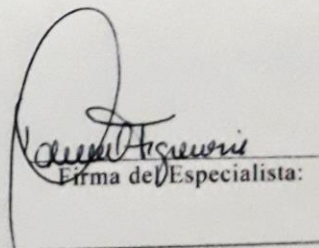
REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	X			✓		
2	X			X		
3	X			X		
4	X			X		
5	X			X		
6	X			X		
7	X			X		
8	X			X		
9	X			X		

Fecha: 03-02-2023


Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:

Ingeniero Civil

ANEXOS

Anexo A: Propiedades de la película de polietileno



Descripción

Película de polietileno coextruida, transparente, capaz de contraerse y adaptarse a la forma del producto que empaqua. No posee tratamiento corona.

Aplicaciones

Se emplea como empaque secundario de productos para termoencoger. Uso industrial.

Presentación del producto



Diámetro externo (mm)	Constante de peso (kg/m)	Espesor (µm) / Metraje (m)									Diámetro Interno Core (pulgadas)
		30	40	50	60	70	75	80	100	120	
195	17	625	470	375	313	267	250	232	188	156	3 y 6
240	35	1.250	940	750	625	533	500	463	375	313	
325	69	2.500	1.880	1.500	1.250	1.065	1.000	940	750	625	
450	138	5.000	3.760	3.000	2.500	2.130	2.000	1.880	1.500	1.250	

PROPIEDADES FÍSICAS DEL PRODUCTO

Características	Método de análisis	Unidades de medida	Teleblow® BS									
Espesor	COVENIN 466-94	µm		30	40	50	60	70	75	80	100	120
Densidad	COVENIN 461	g/cm³		0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
Gramaje	COVENIN 2480-94	g/m²		27,6	36,8	46,0	55,2	64,4	69,0	73,6	92,0	110,4
Rendimiento	Calculado	m²/kg		36,2	27,2	21,7	18,1	15,5	14,5	13,6	10,9	9,1
Esfuerzo a la Ruptura		kgf/mm²	L	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 2
			T	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 2
Elongación a Ruptura	COVENIN 2557-96	%	L	≥ 200	≥ 200	≥ 400	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 600
			T	≥ 600	≥ 600	≥ 600	≥ 800	≥ 800	≥ 800	≥ 800	≥ 800	≥ 800
Módulo Elástico		kgf/mm²	L	≥ 3	≥ 3	≥ 3	≥ 3	≥ 3	≥ 3	≥ 3	≥ 3	≥ 3
			T	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4
Opacidad	COVENIN 771-77	%		≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 9
Relación de Termoencogimiento	ASTM D 2732	%	L	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80
			T	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40
Resistencia al Rasgado (Elmendorf)	COVENIN 994-98	gf	L	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50
			T	≥ 80	≥ 80	≥ 80	≥ 80	≥ 80	≥ 80	≥ 80	≥ 80	≥ 80

T

Transversal a la dirección de la máquina

TT

Cara tratada con cara tratada de la película

L

Longitudinal a la dirección de la máquina

NT

Cara No tratada de la película

Fuente: <http://www.teleplastic.com.ve/>

Anexo B: Propiedades térmicas de plásticos comunes

Polymer	Melting Temperature T_m (°C)	Specific Heat at Room Temperature C_p (J/kg·K)	Thermal Coefficient of Volume Expansion β ($10^{-6} K^{-1}$)	Thermal Conductivity κ (W/m·K)	Latent Heat of Fusion ΔH_m (kJ/kg)	Fractional Volume Change $\Delta V/V$ (%)
PE	137	1.92	287	0.3-0.5	277	—
PS	240	0.95	510-600	0.11	87	—
PP	176	1.8	105	0.12	209	—
PVC	273	0.95	520	0.16	—	—
PMMA	200	1.38	460-500	0.19	—	—
PC	—	—	260	0.2	—	—
PTFE	332	—	—	0.38	82	29
Polyisoprene	—	—	—	—	—	—
Vulcanizate gum	87	1.83	660	0.153	203	—
Vulcanized	—	1.39	190	0.162	—	—
SBR	—	—	—	—	—	—
Vulcanizate gum	—	1.89	660	0.19-0.25	—	—
Vulcanized	—	1.50	530	0.30	—	—

Fuente: Biodegradable Polymers and Plastics. Chiellini, Roberto. USA: Kluwer Academic. 2003.

Polymer	Density (g/cm ³)	Specific Heat Capacity (J/Kg·K)	Thermal conductivity (W/(m·K) @ 23°C)
Polyethylene terephthalate (PET)	1.38-1.56	1000-1350	0.15-0.4
Polylactic acid (PLA)	1.25	1800	0.13
High-density polyethylene (HDPE)	0.95-1.27	1300-2400	0.45-0.52

Fuente: Colwill, James & Simeone, Alessandro. (2016). Energy-efficient Systems for the Sensing and Separation of Mixed Polymers. Disponible en https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-polymer-thermal-properties_tbl1_317009964

Anexo C: Propiedades del agua líquida

TABLA A-3

Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes

a) Líquidos

Sustancia	<i>Datos de ebullición a 1 atm</i>		<i>Datos de congelación</i>		<i>Propiedades de líquidos</i>		
	Punto de ebullición normal, °C	Calor latente de vaporización h_{fg} , kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión h_{if} , kJ/kg	Temperatura, °C	Densidad ρ , kg/m ³	Calor específico c_p , kJ/kg · K
Aceite comestible (ligero)					25	910	1.80
Agua	100	2257	0.0	333.7	0	1000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22
Alcohol etílico	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Amoniaco	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Argón	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
<i>n</i> -Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Dióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6		0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Etilén glicol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helio	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutano	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Mercurio	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13,560	0.139

Fuente: Yunus, Çengel & Afshin, Ghajar. (2011). Transferencia de calor y masa 4ed.

Anexo D: Propiedades del aire

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Fuente: Yunus, Çengel & Afshin, Ghajar. (2011). Transferencia de calor y masa 4ed.

Anexo E: Propiedades de térmicas de metales

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos (continuación)

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), k(W/m · K)/c _p (J/kg · K)					
		ρ kg/m ³	c _p J/kg · K	k W/m · K	α × 10 ⁶ m ² /s						
						100	200	400	600	800	1000
Al carbono-manganeso-silicio (1% < Mn < 1.65% 0.1% < Si < 0.6%)	8 131	434	41.0	11.6				42.2	39.7	35.0	27.6
								487	559	685	1 090
Aceros al cromo (bajo): ½ Cr-½ Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)	7 822	444	37.7	10.9				38.2	36.7	33.3	26.9
								492	575	688	969
1Cr-½ Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)	7 858	442	42.3	12.2				42.0	39.1	34.5	27.4
								492	575	688	969
1Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)	7 836	443	48.9	14.1				46.8	42.1	36.3	28.2
								492	575	688	969
Aceros inoxidables:											
AISI 302	8 055	480	15.1	3.91				17.3	20.0	22.8	25.4
								512	559	585	606
AISI 304	1 670	7 900	477	14.9	3.95	9.2	12.6	16.6	19.8	22.6	25.4
						272	402	515	557	582	611
AISI 316	8 238	468	13.4	3.48				15.2	18.3	21.3	24.2
								504	550	576	602
AISI 347	7 978	480	14.2	3.71				15.8	18.9	21.9	24.7
								513	559	585	606
Plomo	601	11 340	129	35.3	24.1	39.7	36.7	34.0	31.4		
						118	125	132	142		
Magnesio	923	1 740	1 024	156	87.6	169	159	153	149	146	
						649	934	1 074	1 170	1 267	
Molibdeno	2 894	10 240	251	138	53.7	179	143	134	126	118	112
						141	224	261	275	285	295
Niquel:											
Puro	1 728	8 900	444	90.7	23.0	164	107	80.2	65.6	67.6	71.8
						232	383	485	592	530	562
Nicromo (80% Ni, 20% Cr)	1 672	8 400	420	12	3.4			14	16	21	
								480	525	545	
Inconel X-750 (73% Ni, 15% Cr, 6.7% Fe)	1 665	8 510	439	11.7	3.1	8.7	10.3	13.5	17.0	20.5	24.0
						—	372	473	510	546	626
Niobio	2 741	8 570	265	53.7	23.6	55.2	52.6	55.2	58.2	61.3	64.4
						188	249	274	283	292	301
Paladio	1 827	12 020	244	71.8	24.5	76.5	71.6	73.6	79.7	86.9	94.2
						168	227	251	261	271	281
Platino:											
Puro	2 045	21 450	133	71.6	25.1	77.5	72.6	71.8	73.2	75.6	78.7
						100	125	136	141	146	152
Aleación 60Pt-40Rh (60% Pt, 40% Rh)	1 800	16 630	162	47	17.4			52	59	65	69
								—	—	—	—
Renio	3 453	21 100	136	47.9	16.7	58.9	51.0	46.1	44.2	44.1	44.6
						97	127	139	145	151	156
Rodio	2 236	12 450	243	150	49.6	186	154	146	136	127	121
						147	220	253	274	293	311

Fuente: Yunus, Çengel & Afshin, Ghajar. (2011). Transferencia de calor y masa 4ed.

Anexo F: Propiedades térmicas de materiales aislantes

PROPIEDADES TÉRMICAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y AISLANTES				
Material	Densidad	Calor Específico	Conductividad Térmica.	Difusividad Térmica
	(kg/m³)	(J/(kg.K))	(W/(m.K))	(m²/s) (x10⁻⁶)
Cinc	7140	389	106-140	38,16-50,41
Cobre	8900	389	372-385	107,45-111,20
Corcho (expandido)	120	-	0,036	-
Espuma de poliuretano	40	1674	0,029	0,433
Espuma de vidrio	100	-	0,047	-
Estaño	7400	251	64	34,46
Fibra de vidrio	220	795	0,035	0,200
Filtro de Lana			0,052	
Fundición	7500	-	55,8	-
Goma dura	1150	2009	0,163	0,070
Goma esponjosa	224	-	0,055	-
Granito	2750	837	3	1,303
Hierro	7870	473	72	19,34
Hormigón	2200	837	1,4	0,761
Hormigón de cascote	1600-1800	-	0,75-0,93	-
Láminas de fibra de madera	200	-	0,047	-
Ladrillo al cromo	3000	840	2,32	0,921
Ladrillo común	1800	840	0,8	0,529
Ladrillo de circonio	3600	-	2,44	-
Ladrillo de magnesita	2000	1130	2,68	1,186
Ladrillo de mampostería	1700	837	0,658	0,462
Ladrillo de sílice	1900	-	1,070	-
Lana de vidrio	100-200	670	0,036-0,040	0,537-0,299
Latón	8550	394	81-116	24,04-34,43
Linóleo	535	-	0,081	-
Litio	530	360	301,2	1578,61
Madera	840	1381	0,13	0,112
Madera de abedul	650	1884	0,142	0,116
Madera de alerce	650	1298	0,116	0,137
Madera de arce	750	1591	0,349	0,292
Madera de chopo	650	1340	0,152	0,175
Madera de fresno	750	1591	0,349	0,292
Madera de haya	800	1340	0,143	0,133
Madera de haya blanca	700	1340	0,143	0,152
Madera de pino	650	1298	0,163	0,193
Madera de pino blanco	550	1465	0,116	0,144
Madera de roble	850	2386	0,209	0,103
Mármol	2400	879	2,09	0,991

Fuente: Kreith, Frank. (2003). Principios de Transferencia de Calor.

Anexo G: Tipo de cadena y piñones utilizados en transportadores con malla metálica

Belt Code:	IS 125
Specification:	38.1 - 25.78 (NOM) – 22.23 x 2/2.03 – 7.94
Minimum Width (A):	300mm
Maximum Width (A):	1537mm
Longitudinal Cross Rod Pitch (B):	38.1mm
Nominal Lateral Pitch (C):	25.78mm nominal
Cross Rod Dia (D):	7.94mm
Belt Thickness (E):	22.23mm
Flat Strip Thickness (F):	2 x 2.03mm
Selvedge Finish:	Welded washer / Threaded with welded nut
Nominal Open Area:	58%
Belt Weight:	30.5 Kg/m ²
Maximum Belt Pull:	Up to 13391 Kgf/mtr width*
Product Loading Capacity:	Up to 610 Kg/m ² **

Belt Specifications

Honeycomb belt is available in a wide range of specifications. The examples listed in the following tables are the most common. Belts can be up to 5 metres wide, alternative specifications are available, please contact our Technical Sales Engineers for information.

European Standard				
	Cross Rod Pitch (mm)	Nominal Lateral Pitch (mm)	Flat Strip (mm)	Cross Rod (mm)
ES001*	13.7	14.6	10x1	3
ES 003	26.2	15.55	12x1.2	4
ES 004	27.4	15.7	9.5x1.25	3
ES 006	27.4	24.7	9.5x1.25	3
ES 012	28.6	15	9.5x1.25	3
ES 013	28.6	26.25	9.5x1.25	3
ES 015	28.4	22.5	15x1.2	4

* Available button edge (welded washer) only

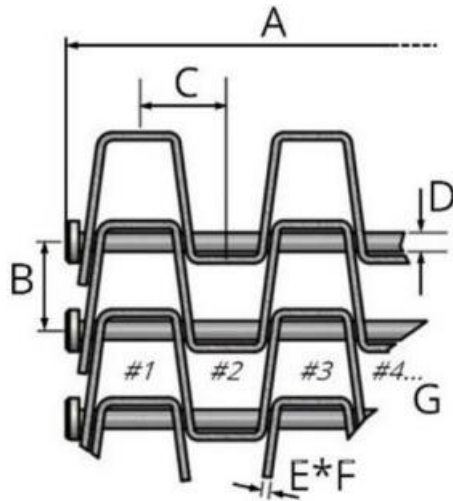
Materials Available

- Stainless Steel 1.4301 (304)
- Stainless Steel 1.4401 (316)
- Stainless Steel 1.4541 (321)**
- Stainless Steel 1.4828**
- Mild Steel
- Galvanised Mild Steel

**Limited specifications available

Imperial Standard				
	Cross Rod	Nominal Lateral Pitch (mm)	Flat Strip (mm)	Cross Rod (mm)
IS 101A*	12.85	14.48	9.5x1.2	3
IS 101B*	13.72	14.48	9.5x1.2	3
IS 101C*	14.22	15.46	9.5x1.2	3
IS 102A	28.58	15.46	9.5x1.2	3
IS 102B	27.53	15.22	9.5x1.2	3
IS 102C	26.97	15.22	9.5x1.2	3
IS 103	28.58	26.19	9.5x1.2	3
IS 104	26.97	17.78	12.7x1.6	4.9
IS 105	26.97	25.4	12.7x1.6	4.9
IS 106	28.58	25.4	15.9x1.6	4.9
IS 107	38.1	38.1	15.9x1.6	4.9
IS 108	50.8	50.8	15.9x1.6	4.9
IS 109	76.2	76.2	15.9x1.6	4.9

* Available button edge (welded washer) only



- A: Overall Width (mm)
- B: Cross Rod Pitch (mm)
- C: Nominal Lateral Pitch (mm)
- D: Cross Rod Diameter (mm)
- E: Height of flat strip material (mm)
- F: Thickness of flat strip material (mm)
- G: Number of Apertures Across Width (mm)

Drive Components

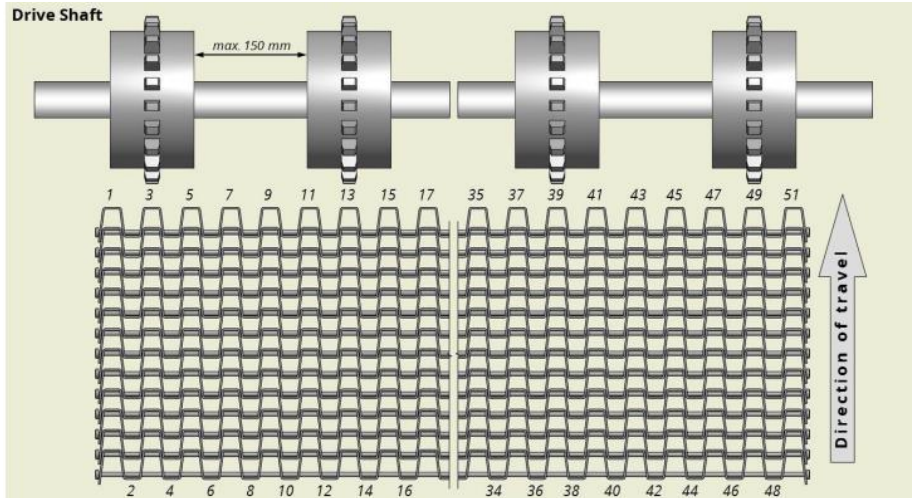
Sprockets

With their positive engagement, sprockets eliminate the possibility of slippage on the drive shaft that can occur on a friction driven belt systems. All sprockets are available in stainless steel, PA6G, "Oilon", Mild Steel or Cast Iron. The tables below shows the available pitch diameters and number of teeth for each belt pitch.



European Standard Drive Sprocket Pitch Diameter Table					
Belt Standard/Cross Rod Pitch					
	ES001	ES003	ES004/6	ES012/13	ES015
Teeth	13.7mm	26.2mm	27.4mm	28.6mm	28.4mm
12	53.32	101.62	106.25	110.89	110.12
18	79.47	151.46	158.37	165.28	164.12
24	105.73	201.49	210.69	219.88	218.35
30	132.02	251.61	263.09	274.57	272.65

Imperial Standard Drive Sprocket Pitch Diameter Table											
Belt Standard/Cross Rod Pitch											
	IS 101A	IS 101B	IS 101C	IS 102A	IS 102B	IS 102C	IS 104/5	IS106	IS 107	IS 108	IS 109
Teeth	12.85mm	13.72mm	14.22mm	28.58mm	27.53mm	26.97mm	26.97mm	28.58mm	38.1mm	50.8mm	76.2mm
12			53.98	109.42	105.41	103.23	103.23	109.42	146.22	195.3	293.45
16	64.58	69	71.61								
18	72.39	77.52	80.72	163.09	157.1	153.87	153.87	163.09	217.96	291.08	437.36
24	96.34	103.12	107.39	216.97	209	204.7	204.7	216.97	289.94	387.22	581.81
34				306.93							
36	144.25	154.46	161.65	324.94			306.58				



Fuente: <https://wirebelt.co.uk/products/conveyor-belts/honeycomb-conveyor-belt/>

Anexo H: Resistencias eléctricas para aire con aletas

Resistencias para Aire con Aletas

TIPOS AL / ALG / ALEC

Características generales

- Elementos blindados en AISI 304 de Ø8 mm para modelos AL y ALEC y Ø10 mm para modelos ALG.
- Aleta de aluzinc o chapa aluminizada de 25x50 mm para modelos AL y ALEC y 40x70 mm para modelos ALG.
- Racores engrampados de acero zincado
- Tensión normalizada -230 V

Características particulares para modelos AL y ALG

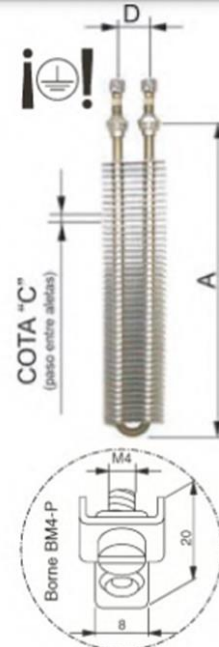
- Temperatura máxima con $v_{\text{aire}} = 2 \text{ m/seg} @ 200 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura máxima sin ventilación ($v_{\text{aire}} = 0 \text{ m/seg.}$): $60 \text{ }^\circ\text{C}$
- Para temperatura ambiente superior a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ es necesario ventilación forzada.
- Para temperatura de trabajo superior a $125 \text{ }^\circ\text{C}$ es necesario aislar térmicamente los bornes de conexión de la zona de calentamiento.



Modelos	Código (1)	Cota A en mm	Wattios	W/cm ² (*)	Peso En Kg
Aleta de 25x50 de Aluzinc ó chapa aluminizada.	AL010	200	100	1,2	0,29
Tubo AISI 304 de Ø8 mm Racores M12x1,25 de acero zincado (long. Rosca 8 mm).	AL012	200	150	1,8	0,29
Cota C = 5 mm Cota D = 25 mm	AL011	200	200	2,5	0,29

Modelos	Código	Cota A en mm	Wattios	W/cm ² (*)	Peso En Kg
Aleta de 25x50 de Aluzinc ó chapa aluminizada. Tubo AISI 304 de Ø8 mm Racores M12x1,25 de acero zincado (long. Rosca 8 mm). Cota C = 5 mm Cota D = 25 mm	AL001	260	500	4,5	0,38
	AL002	300	600	4,6	0,45
	AL003	370	750	4,6	0,54
	AL004	430	850	4,4	0,62
	AL005	500	1000	4,4	0,71
	AL009	620	1250	4,3	0,88
	AL006	740	1500	4,3	1,1
	AL007	970	2000	4,3	1,4
AL008	1180	2500	4,4	1,5	

Modelos	Código	Cota A en mm	Wattios	W/cm ² (*)	Peso En Kg
Aleta de 40x70 de Aluzinc ó chapa aluminizada. Tubo AISI 304 de Ø10 mm Racores M14x1,25 de acero zincado (long. Rosca 11 mm). Cota C = 5,5 mm Cota D = 40 mm	ALG01	325	1000	5,3	0,84
	ALG02	470	1500	5,5	1,2
	ALG03	620	2000	5,4	1,6
	ALG04	760	2500	5,4	2,0
	ALG05	910	3000	5,4	2,4
	ALG08 (2)	1090	3333	5,3	2,9
	ALG06	1055	3500	5,5	2,8
ALG07	1180	4000	5,4	3,2	



(1) La gama de calefactores aletados AL010, AL011 y AL012 está concebida para calefacción de armarios de maniobra u otras aplicaciones en las que la temperatura de trabajo sea similar.

(2) Salidas con borne roscado BM6-S-L (rosca M6)

(*) Los W/cm² se calculan respecto al tubo de la resistencia

Fuente: <https://resistencias-rci.es/>

Anexo I: Características del ventilador centrífugo

Ventilador centrífugo GTA / GRA | Ventiladores centrífugos alta temperatura



Características



- Motor directo de rotor externo protegido por termocontacto
- Velocidad regulable 0-100°C
- Turbinas equilibradas estática y dinámicamente según norma ISO 1940
- Bajo nivel sonoro
- Temperatura del aire hasta 220°C

Especificaciones

Modelo	Tensión (V (50 Hz))	Intensidad (A)	Potencia (W)	Velocidad (rpm)	Caudal (m ³ /h)	Presión Máxima (Pa)	Temp. Máx. (°C)
2GTA15-120/62R	1x230V	0,3	68	1715	270	270	220
2GTA35-140/59R	1x230V	0,63	136	1635	455	450	220
4GRA25-180/70R	1x230V	0,24	54	805	395	200	150
4GRA45-180/92R	1x230V	0,56	128	1065	740	230	150
4GTA25-180/70R	1x230V	0,37	83	930	535	220	150

Fuente: <https://www.airtecnicos.com/es>

Anexo J: Especificaciones de motores eléctricos

Datos Eléctricos - 60 Hz

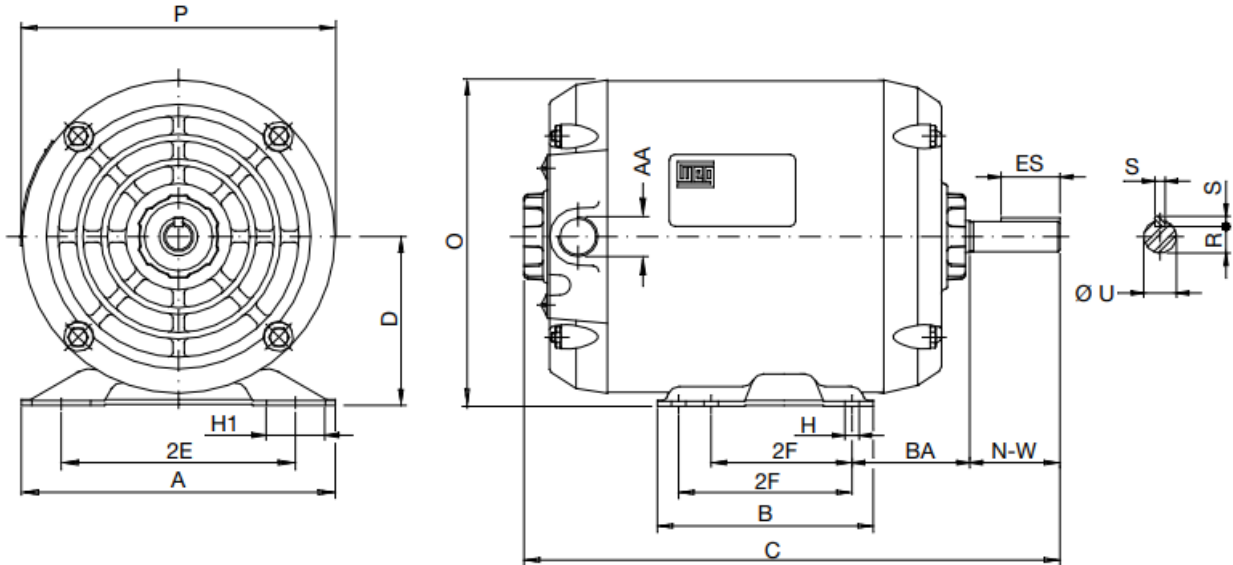
IP21 - Trifásico

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (kgfm)	Corriente con rotor trabado		Par de arranque Ta/Tn	Par máximo Tm/Tn	Inercia J (kgm²)	Tiempo máx. con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Factor de Servicio	440 V						Corriente nominal In (A)	
													Rotación nominal (rpm)	% de la potencia nominal			Factor de potencia			
														Rendimiento		Factor de potencia				
HP	kW		Letra	II/In				Caliente	Frio			50	75	100	50	75	100			
II Polos																				
0,25	0,18	A56	0,050	M	5,8	3,0	3,5	0,0006	15	33	8,0	1,35	3480	43,0	52,0	58,0	0,55	0,64	0,72	0,575
0,33	0,25	A56	0,070	L	5,7	2,6	3,2	0,0007	15	33	8,3	1,35	3500	48,0	57,0	63,0	0,54	0,64	0,72	0,730
0,5	0,37	A56	0,100	K	6,0	2,5	3,0	0,0008	15	33	9,1	1,25	3480	55,0	62,5	66,0	0,57	0,68	0,77	0,950
0,75	0,55	B56	0,160	J	5,7	2,4	2,5	0,0009	15	33	10,2	1,25	3450	64,0	70,0	72,0	0,61	0,73	0,81	1,25
1	0,75	B56	0,210	K	6,5	2,6	2,8	0,0012	10	22	12,5	1,25	3470	66,5	72,0	74,0	0,62	0,73	0,81	1,63
1,5	1,1	D56	0,320	H	6,0	2,2	2,3	0,0013	10	22	9,9	1,15	3400	74,0	76,0	76,0	0,69	0,81	0,87	2,23
2	1,5	D56	0,410	K	8,1	3,5	3,4	0,0017	10	22	12,1	1,15	3460	78,0	80,5	81,0	0,68	0,80	0,87	2,80
3	2,2	F56H	0,620	J	7,0	2,8	3,0	0,0021	10	22	20,0	1,15	3460	81,5	82,0	82,0	0,70	0,82	0,89	4,05
IV Polos																				
0,16	0,12	A56	0,070	P	5,4	2,9	4,6	0,0014	6	13	8,9	1,35	1760	41,0	52,0	57,0	0,40	0,47	0,54	0,511
0,25	0,18	A56	0,100	M	5,5	2,9	3,8	0,0016	15	33	9,4	1,35	1750	50,5	57,5	62,0	0,44	0,52	0,60	0,635
0,33	0,25	A56	0,140	L	5,7	2,3	2,9	0,0016	15	33	10,0	1,35	1740	52,5	62,0	64,0	0,47	0,57	0,69	0,743
0,5	0,37	A56	0,210	K	5,8	2,3	2,8	0,0030	15	33	10,5	1,25	1730	62,0	66,0	70,0	0,51	0,62	0,73	0,950
0,75	0,55	B56	0,310	K	6,3	2,4	2,8	0,0027	10	22	11,0	1,25	1735	64,0	70,0	72,0	0,50	0,63	0,72	1,39
1	0,75	B56	0,410	K	6,3	2,5	2,5	0,0030	15	33	9,6	1,15	1730	68,0	72,0	74,0	0,54	0,67	0,77	1,73
1,5	1,1	D56	0,620	J	6,2	2,2	2,6	0,0038	10	22	14,2	1,15	1720	74,0	76,0	77,0	0,59	0,72	0,81	2,31
2	1,5	F56H	0,840	J	6,4	2,5	2,5	0,0044	10	22	14,6	1,15	1710	74,0	77,0	77,0	0,59	0,71	0,80	3,20
3	2,2	F56H	1,23	L	7,8	3,8	3,7	0,0065	10	22	17,8	1,15	1740	78,5	81,5	82,0	0,47	0,61	0,72	4,97
Opcionales																				
0,33	0,25	B56	0,140	L	5,7	2,3	2,9	0,0016	15	33	10,0	1,35	1740	52,5	62,0	64,0	0,47	0,57	0,69	0,743
0,5	0,37	B56	0,210	K	5,8	2,3	2,8	0,0030	15	33	10,5	1,25	1730	62,0	66,0	70,0	0,51	0,62	0,73	0,950
VI Polos																				
0,25	0,18	A56	0,160	L	3,8	2,8	3,1	0,0019	15	33	8,0	1,35	1150	40,0	50,0	55,0	0,43	0,52	0,59	0,784
0,33	0,25	A56	0,210	J	4,3	2,7	3,0	0,0025	15	33	9,6	1,35	1140	52,5	59,0	62,0	0,44	0,55	0,64	0,758
0,5	0,37	B56	0,310	J	4,5	2,5	2,7	0,0030	15	33	11,8	1,25	1140	59,0	67,5	68,0	0,44	0,55	0,65	1,05
0,75	0,55	D56	0,480	H	4,4	2,1	2,2	0,0038	15	33	14,0	1,15	1130	68,0	70,0	70,0	0,52	0,65	0,73	1,41
1	0,75	F56H	0,640	H	4,6	2,2	2,3	0,0055	15	33	18,7	1,15	1120	72,0	74,0	74,0	0,51	0,64	0,73	1,80

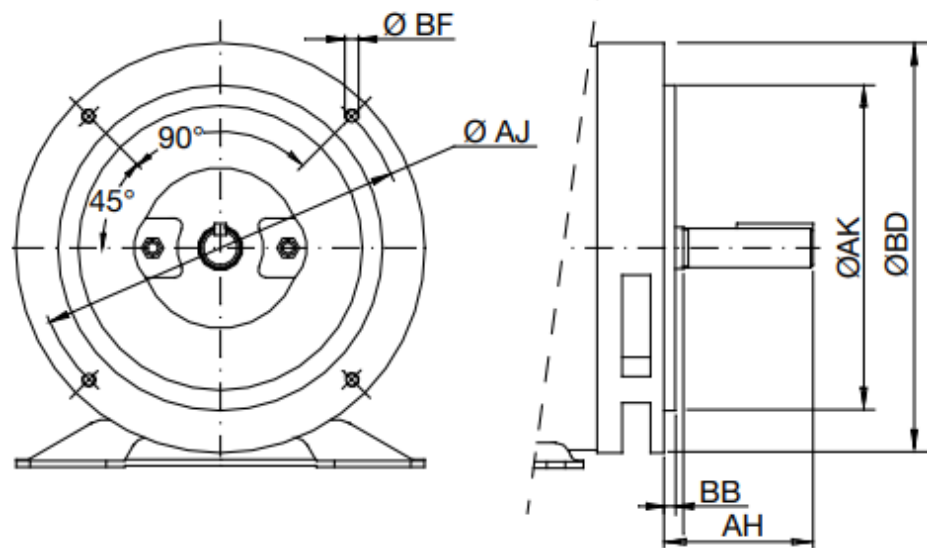
Datos Mecánicos - Motores Trifásicos

(Dimensiones en mm)

IP21



Bridas



IP21

Carcasa	A	2E	H1	D	P	2F	B	BA	H	C	N-W	ES	O	AA	R	S	U	Cojinetes	
																		Delantero	Trasero
A56	166	123.8	31	88.9	165	76.2	165.0	69.9	8.7	262	47.6	28	172	NPT 1/2"	13.13	4.76	15.875	6204 ZZ	6203 ZZ
B56							282			6204 ZZ			6203 ZZ						
D56							312			6204 ZZ			6203 ZZ						
F56H							342			6204 ZZ			6203 ZZ						

Bridas

Carcasa	Brida	AH	AJ	AK	BD	BF	BB
A56	FC-149	52.4	149.2	114.3	165.1	UNC 3/8"x16-2B	4
B56							
D56							
F56H							

Fuente: <https://www.weg.net/institucional/VE/es/>

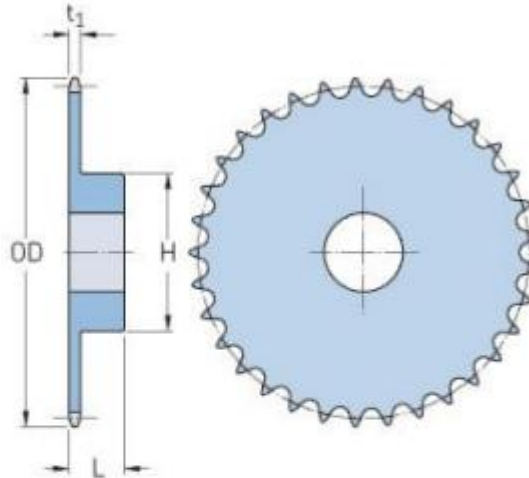
Anexo K: Tabla de coeficiente de fricción entre cadena y guía de desgaste

Material de la guía	Guide material	μ_d
Acero dulce sin lubricar	Soft non lubricated steel	0,40
Acero duro sin lubricar	Hard non lubricated steel	0,30
Acero lubricado	Lubricated steel	0,20
Madera	Wood	0,40
Poliamido o Polietileno A.D.	Polyamide or Polyethylene H.D.	0,15

Fuente: <http://www.cadersa.es/indice.htm>

Anexo L: Medidas de piñones ASA 80 con 15 dientes

PHS 80-1B15



Pitch P (in)	1
No. of teeth	15
Diameter (in)	5.3
Min. bore (in)	1
Max. bore (in)	2.5
Hub H (in)	3.81
Hub L (in)	1.5
Weight (lbs)	5.3

Fuente: <https://www.skf.com/ven>

Anexo M: Especificaciones de motorreductores siemens

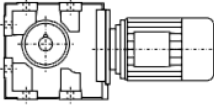
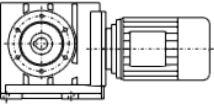
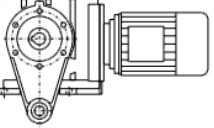
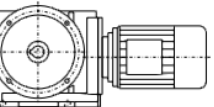
Motorreductores Motorreductores helicoidales sinfín-corona

Motorreductores de hasta 11 kW

Datos para selección y pedidos (continuación)

Potencia P_{motor} kW	Velocidad de salida		Par de salida T_2 Nm	Factor de servicio f_s	Índice de reducción i_{tot}	Referencia	Código (n.º polos)	Peso *) kg
	n_2 (50 Hz) min ⁻¹	n_2 (60 Hz) min ⁻¹						
0,12 (50 Hz)	C.28-LA71B4							
0,14 (60 Hz)	9,0	10,8	94	1,2	155,00	2KJ1600 - ■CB13 - ■■K1		10
	11,1	13,3	77	1,2	126,40	2KJ1600 - ■CB13 - ■■J1		10
	15,1	18,1	63	1,9	93,00	2KJ1600 - ■CB13 - ■■H1		10
	18,5	22	51	1,9	75,84	2KJ1600 - ■CB13 - ■■G1		10
	23	28	44	2,7	62,00	2KJ1600 - ■CB13 - ■■F1		10
	28	34	36	2,6	50,56	2KJ1600 - ■CB13 - ■■E1		10
	30	36	34	3,2	46,50	2KJ1600 - ■CB13 - ■■D1		10
	37	44	28	3,2	37,92	2KJ1600 - ■CB13 - ■■C1		10
	45	54	23	4,3	31,00	2KJ1600 - ■CB13 - ■■B1		10
55	66	19	4,3	25,28	2KJ1600 - ■CB13 - ■■A1		10	

Datos para selección y pedidos

Modo de fijación	Referencia 14.ª pos.	Identificación en designación de tipo 2.ª pos. a eje macizo 3.ª pos. a eje hueco	
Patatas	A	-	
Centraje (tipo C)	H	Z	
Brazo de reacción	D	D	
Brida (tipo A)	F	F	

Fuente: <https://www.siemens.com/es/es.html>

Anexo N: Propiedades físicas de aceros

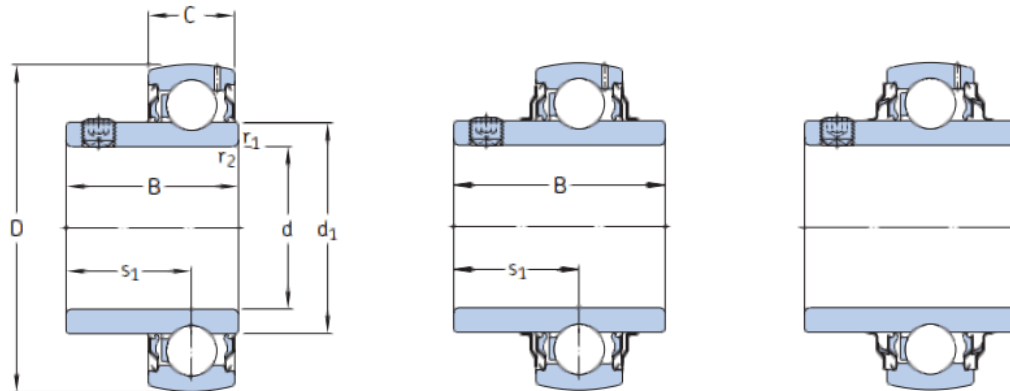
Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD) [Las resistencias listadas son valores ASTM mínimos estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm [$\frac{3}{4}$ a $1\frac{1}{4}$ pulg.]. Estas resistencias resultan adecuadas para usarse con el factor de diseño definido en la sección 1-10, a condición que los materiales se ajusten a los requisitos ASTM A6 o A568 o que se requieran en las especificaciones de compra. Recuerde que un sistema de numeración no es una especificación] Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 [43]	170 [24]	30	55	86
		CD	330 [48]	280 [41]	20	45	95
G10100	1010	HR	320 [47]	180 [26]	28	50	95
		CD	370 [53]	300 [44]	20	40	105
G10150	1015	HR	340 [50]	190 [27.5]	28	50	101
		CD	390 [56]	320 [47]	18	40	111
G10180	1018	HR	400 [58]	220 [32]	25	50	116
		CD	440 [64]	370 [54]	15	40	126
G10200	1020	HR	380 [55]	210 [30]	25	50	111
		CD	470 [68]	390 [57]	15	40	131
G10300	1030	HR	470 [68]	260 [37.5]	20	42	137
		CD	520 [76]	440 [64]	12	35	149
G10350	1035	HR	500 [72]	270 [39.5]	18	40	143
		CD	550 [80]	460 [67]	12	35	163
G10400	1040	HR	520 [76]	290 [42]	18	40	149
		CD	590 [85]	490 [71]	12	35	170

Fuente: Nisbett, K. & Budynas, R. (2011) Diseño en ingeniería mecánica de Shigley

Anexo Ñ: Especificaciones de las chumaceras

Y-bearings with grub screws, metric shafts
d 12 – 100 mm



YAT

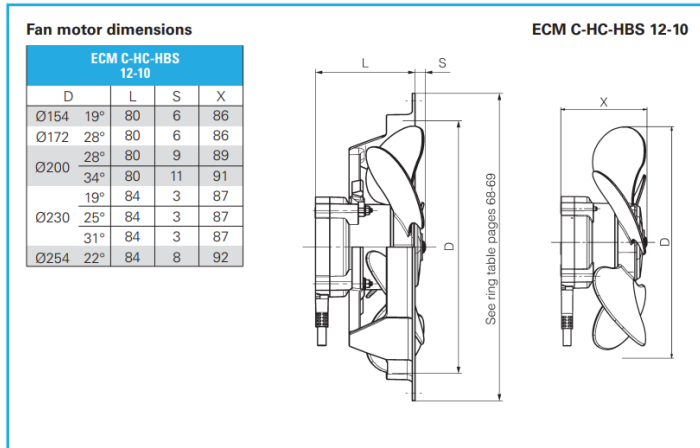
YAR-2F

YAR-2RF

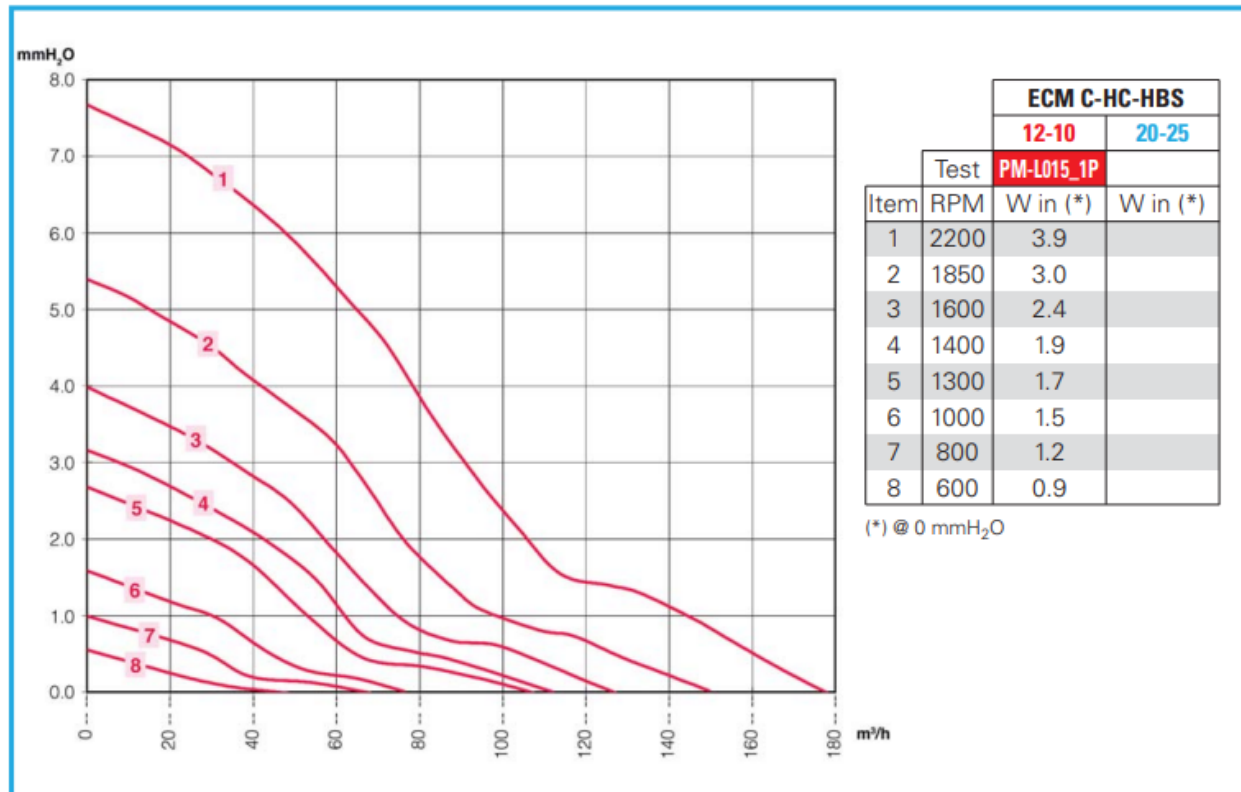
Dimensions							Basic load ratings dynamic static		Fatigue load limit P_u	Limiting speed with shaft tolerance h6	Mass	Designation
d	D	B	C	d_1	s_1	$r_{1,2}$ min	C	C_0		r/min	kg	-
mm												
12	40	27,4	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,11	YAR 203/12-2F
15	40	27,4	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,10	YAR 203/15-2F
17	40	22,1	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,07	YAT 203
	40	27,4	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,09	YAR 203-2F
20	47	25,5	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,11	YAT 204
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,14	YAR 204-2F
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	5 000	0,14	YAR 204-2RF
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	10,8	6,55	0,28	5 000	0,14	YAR 204-2RF/HV
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	5 000	0,14	YAR 204-2RF/VE495
25	52	27,2	15	33,7	19,5	0,6	14	7,8	0,335	7 000	0,14	YAT 205
	52	34,1	15	33,7	19,8	0,6	14	7,8	0,335	7 000	0,17	YAR 205-2F
	52	34,1	15	33,7	19,8	0,6	14	7,8	0,335	4 300	0,17	YAR 205-2RF
	52	34,1	15	33,7	19,8	0,6	11,9	7,8	0,335	4 300	0,18	YAR 205-2RF/HV
	52	34,1	15	33,7	19,8	0,6	14	7,8	0,335	4 300	0,18	YAR 205-2RF/VE495
30	62	30,2	18	39,7	21	0,6	19,5	11,2	0,475	6 300	0,23	YAT 206
	62	38,1	18	39,7	22,2	0,6	19,5	11,2	0,475	6 300	0,28	YAR 206-2F
	62	38,1	18	39,7	22,2	0,6	19,5	11,2	0,475	3 800	0,28	YAR 206-2RF
	62	38,1	18	39,7	22,2	0,6	16,3	11,2	0,475	3 800	0,29	YAR 206-2RF/HV
	62	38,1	18	39,7	22,2	0,6	19,5	11,2	0,475	3 800	0,29	YAR 206-2RF/VE495
35	72	33	19	46,1	23,3	1	25,5	15,3	0,655	5 300	0,31	YAT 207
	72	42,9	19	46,1	25,4	1	25,5	15,3	0,655	5 300	0,41	YAR 207-2F
	72	42,9	19	46,1	25,4	1	25,5	15,3	0,655	3 200	0,41	YAR 207-2RF
	72	42,9	19	46,1	25,4	1	21,6	15,3	0,655	3 800	0,42	YAR 207-2RF/HV
	72	42,9	19	46,1	25,4	1	25,5	15,3	0,655	3 800	0,42	YAR 207-2RF/VE495

Fuente: <https://www.skf.com/ven>

Anexo O: Características del ventilador axial

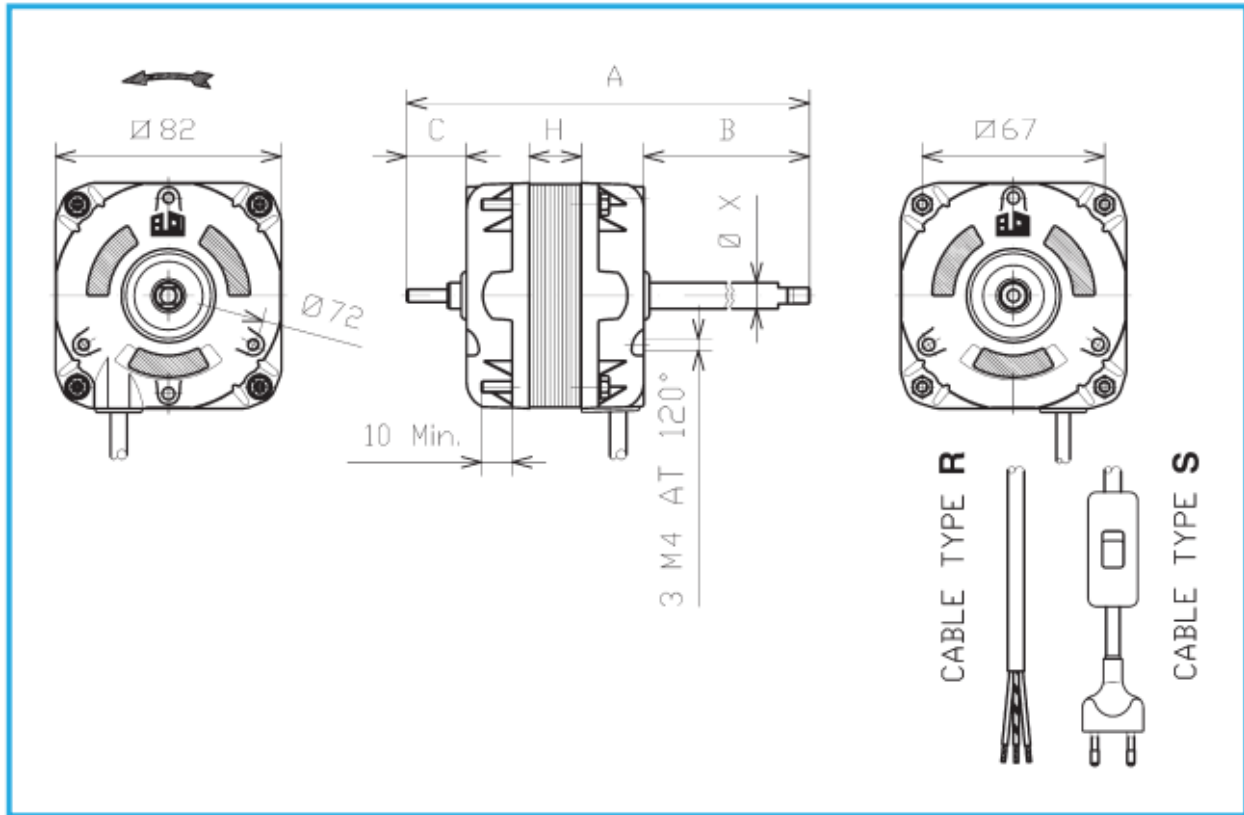


Integrated fan blade air performance curves Ø 154x19°



Fuente: [https://www.elco-spa.com/\(S\(gqy4fxoq53g34pekkssm0o1s\)\)/default.aspx?lang=es](https://www.elco-spa.com/(S(gqy4fxoq53g34pekkssm0o1s))/default.aspx?lang=es)

Anexo P: Características del motor del ventilador axial



Codice Part Number	Volt-Hz	W Out	W In	H	A	B	C	$\varnothing X$	Cavo-Cable mm
NET7B08NNN501	127-60	8	43	20	275	188	22	9,52	S 2040
NET7B08NNN801	220-60	8	39	20	275	188	22	9,52	S 2040
NET7T07PNN201	230-50/60	7	30	30	334	251	-	7,00	R 1030
NET7B28NNN501	127-60	28	98	45	413	300	22	9,52	S 2015
NET7B28NNN502	127-60	28	98	45	363	250	22	9,52	S 2015
NET7B20NNN801	220-60	20	90	45	363	250	22	9,52	S 2015
NET7B20NNN802	220-60	20	90	45	413	300	22	9,52	S 2015
NET7B20NNN803	220-60	20	90	45	453	340	22	9,52	S 2015

Fuente: [https://www.elco-spa.com/\(S\(gqy4fxoq53g34pekkssm0o1s\)\)/default.aspx?lang=es](https://www.elco-spa.com/(S(gqy4fxoq53g34pekkssm0o1s))/default.aspx?lang=es)

Anexo Q: Características de la cortina

Cortina silicona para túnel de retracción

Cortina de teflón para túnel de retracción o retractilado.

Fabricada en silicona blanca.

Medidas: 1 metro de ancho x 1 metro de largo.

Espesor: 0,25 mm.

Se vende en láminas, cortándose a la medida que se necesite.

Temperatura máxima, hasta 250 grados.

Apta para uso con productos de alimentación, siempre que los productos no entren en contacto directo con la cortina.

Características	cortina túnel
Longitud	-
Anchura	1 metro
Espesor	0,25 mm
Temperatura máxima	250 grados

Fuente: <http://www.embalajesterra.com/>

Anexo R: Perfiles de canal

× 8	8.0	102	19	22	7.5	8.2	1.91	37.4	37.3	0.174	5.52	11.3	11.5
× 3	3.2	633	17	31	6.7	6.6	0.75	19.7	19.7	0.096	3.67	10.1	10.8
C12 × 8	8.8	1 120	18	40	7.2	9.0	0.85	22.3	27.4	0.123	4.31	10.5	11.4
× 8	8.0	1 020	102	40	7.5	4.7	1.61	31.6	39.7	0.132	4.65	11.4	11.6
C100 × 11	10.8	1 370	102	43	7.5	8.2	1.91	37.4	37.3	0.174	5.52	11.3	11.5

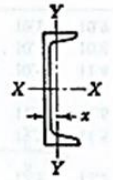


TABLA B-4. Perfiles C (canales), americanos (unidades SI)

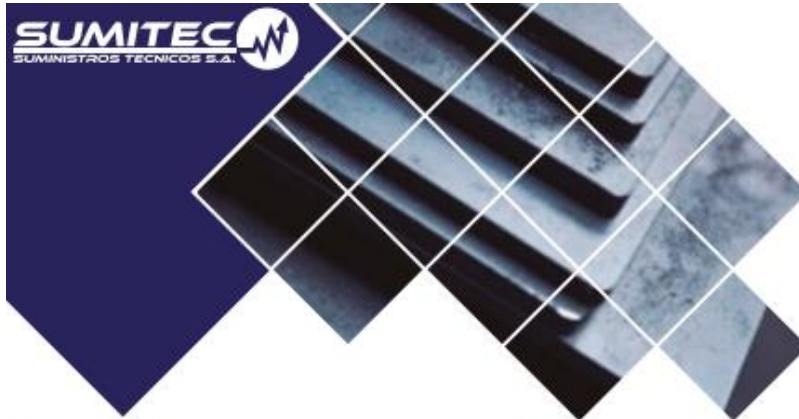
Denominación	Masa (aprox.) (kg/m)	Área transversal (mm ²)	Altura (mm)	Ala (o patin)			Eje X-X			Eje Y-Y			x (mm)
				Ancho (mm)	Espesor (mm)	Espesor de alma (mm)	I (10 ⁶ mm ⁴)	S = I/c (10 ³ mm ³)	r = √(I/A) (mm)	I (10 ⁶ mm ⁴)	S = I/c (10 ³ mm ³)	r = √(I/A) (mm)	
C380 × 74	74.4	9 480	381	94	16.5	18.2	168	881	133	4.60	62.4	22.0	20.3
× 60	59.4	7 570	381	89	16.5	13.2	145	760	138	3.84	55.5	22.5	19.7
C15 × 50	50.5	6 430	381	86	16.5	10.2	131	687	143	3.39	51.4	23.0	20.0
C310 × 45	44.7	5 690	305	80	12.7	13.0	67.3	442	109	2.12	33.6	19.3	17.0
× 37	37.1	4 720	305	77	12.7	9.8	59.9	393	113	1.85	30.9	19.8	17.1
C25 × 31	30.8	3 920	305	74	12.7	7.2	53.5	351	117	1.59	28.2	20.1	17.5
C250 × 45	44.5	5 670	254	76	11.1	17.1	42.8	337	86.9	1.60	26.8	16.8	16.3
× 37	37.3	4 750	254	73	11.1	13.4	37.9	299	89.4	1.40	24.3	17.1	15.7
× 30	29.6	3 780	254	69	11.1	9.6	32.7	257	93.0	1.16	21.5	17.5	15.3
× 23	22.6	2 880	254	65	11.1	6.1	27.8	219	98.2	0.922	18.8	17.9	15.9
C230 × 30	29.8	3 800	229	67	10.5	11.4	25.5	222	81.9	1.01	19.3	16.3	14.8
× 22	22.3	2 840	229	63	10.5	7.2	21.3	186	86.6	0.806	16.8	16.8	14.9
× 20	19.8	2 530	229	61	10.5	5.9	19.8	173	88.6	0.716	15.6	16.8	15.1

(continúa)

C200 × 28	27.9	3 560	203	64	9.9	12.4	18.2	180	71.6	0.825	16.6	15.2	14.4
× 21	20.4	2 600	203	59	9.9	7.7	14.9	147	75.8	0.627	13.9	15.5	14.0
C18 × 17	17.0	2 170	203	57	9.9	5.6	13.5	133	78.8	0.544	12.8	15.8	14.5
C180 × 22	21.9	2 780	178	58	9.3	10.6	11.3	127	63.7	0.568	12.8	14.3	13.5
× 18	18.2	2 310	178	55	9.3	8.0	10.0	113	65.9	0.476	11.4	14.3	13.2
× 15	14.5	1 850	178	53	9.3	5.3	8.86	99.6	69.3	0.405	10.3	14.8	13.8
C150 × 19	19.2	2 450	152	54	8.7	11.1	7.12	93.7	53.9	0.425	10.3	13.2	12.9
× 16	15.5	1 980	152	51	8.7	8.0	6.22	81.9	56.1	0.351	9.13	13.3	12.6
× 12	12.1	1 540	152	48	8.7	5.1	5.36	70.6	59.1	0.279	7.93	13.5	12.8
C130 × 13	13.3	1 700	127	47	8.1	8.3	3.66	57.6	46.5	0.252	7.20	12.2	11.9
× 10	9.9	1 260	127	44	8.1	4.8	3.09	48.6	49.5	0.195	6.14	12.5	12.2
C100 × 11	10.8	1 370	102	43	7.5	8.2	1.91	37.4	37.3	0.174	5.52	11.3	11.5
× 8	8.0	1 020	102	40	7.5	4.7	1.61	31.6	39.7	0.132	4.65	11.4	11.6
C75 × 9	8.8	1 120	76	40	6.9	9.0	0.85	22.3	27.4	0.123	4.31	10.5	11.4
× 7	7.3	933	76	37	6.9	6.6	0.75	19.7	28.3	0.096	3.67	10.1	10.8
× 6	6.0	763	76	35	6.9	4.3	0.67	17.6	29.6	0.077	3.21	10.1	10.9

Fuente: <https://www.ferrocortes.com.co/canal-u2/>

Anexo S: Propiedades del acero estructural A36



ACERO ESTRUCTURAL
ACERO ASTM A36



1. Descripción: Acero al carbono estructural conocido como hierro negro, de calidad estructural para el uso en puentes y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas.

2. Normas involucradas: ASTM A 36/A 36M - 04

3. Propiedades mecánicas: Esfuerzo a la fluencia mínimo: 250 MPa (36300 PSI)
Esfuerzo a la tensión: 400 – 550 MPa (58000 – 79800 PSI)
Elongación mínima en 50 mm (2"): 23%
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

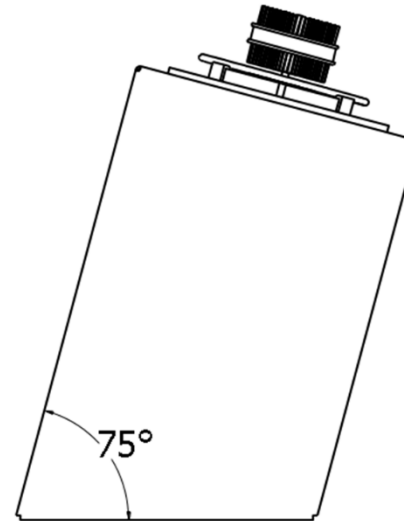
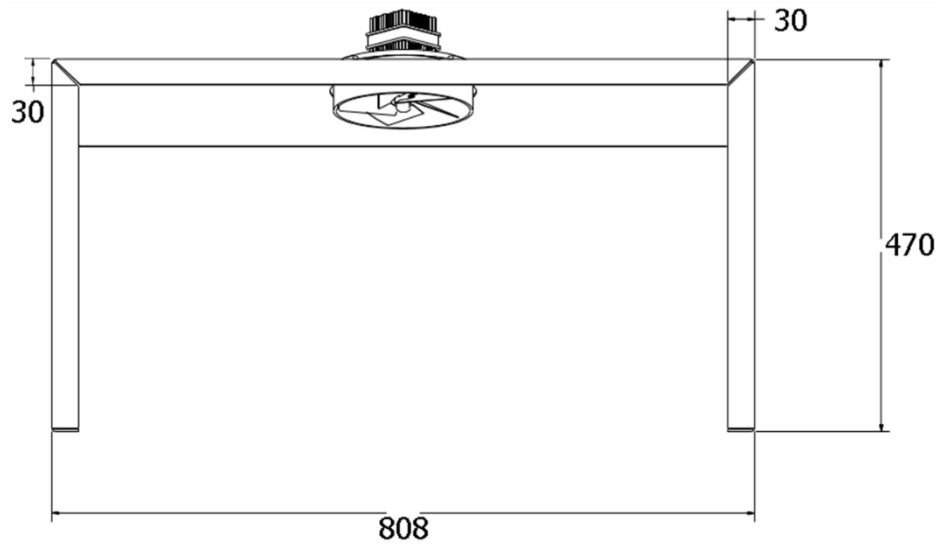
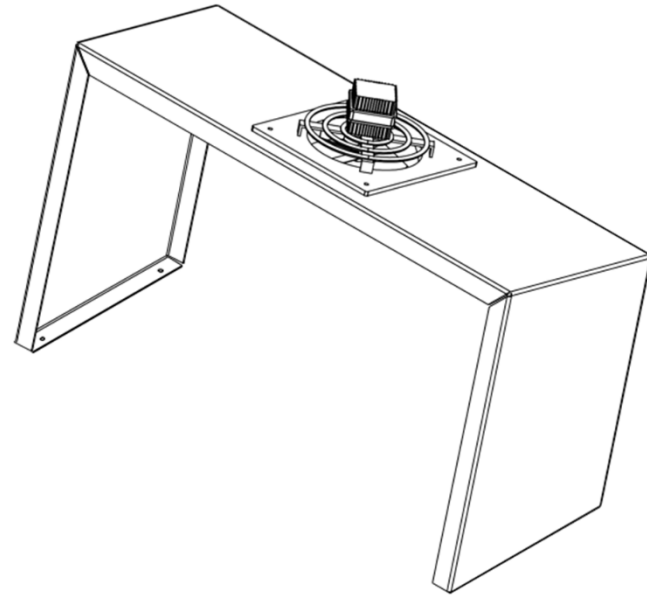
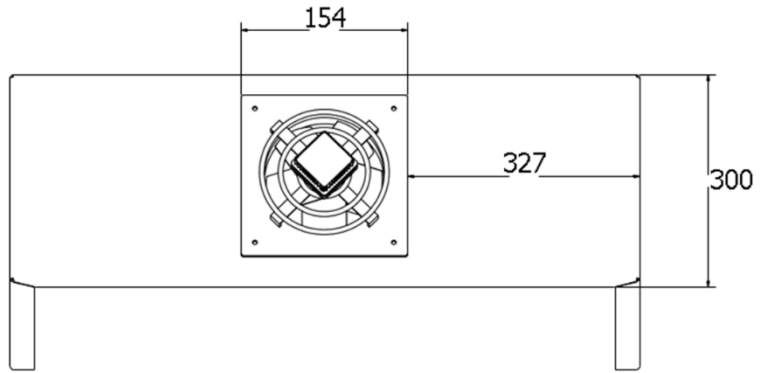
4. Propiedades físicas: Densidad 7.85 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. Propiedades químicas: 0.25 – 0.29 % C
0.60 – 1.20 % Mn
0.15 – 0.40 % Si
0.04 % P máx
0.05 % S máx

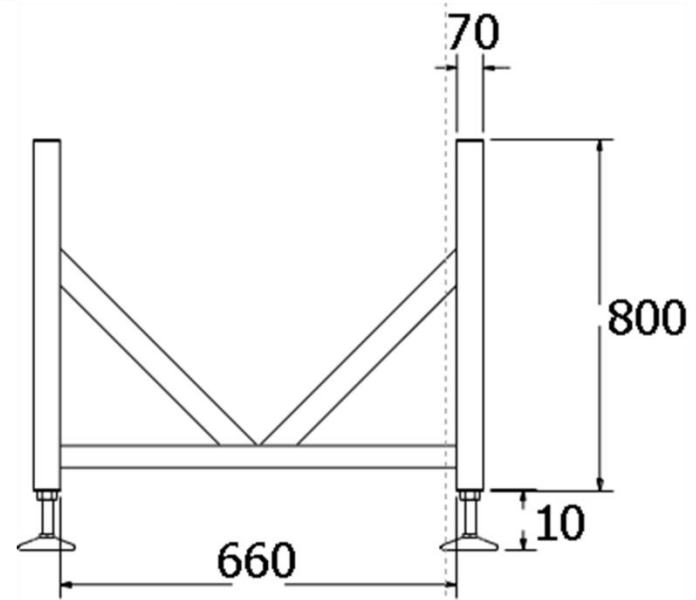
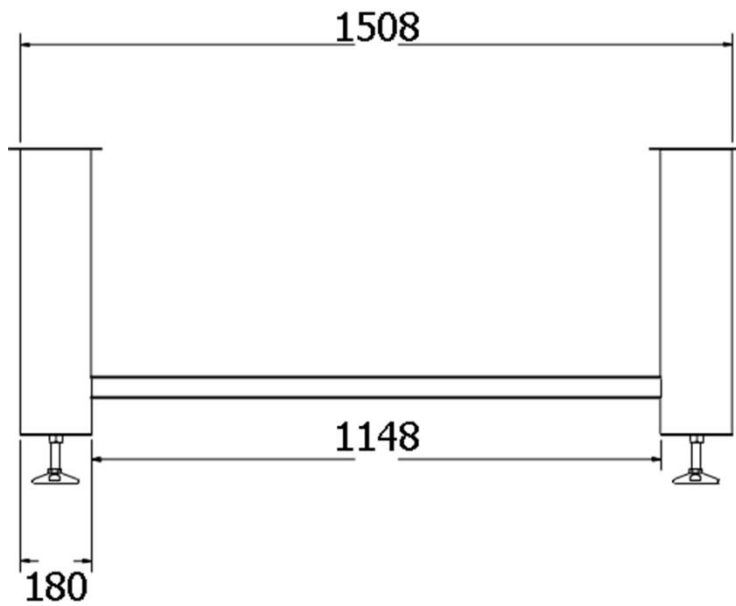
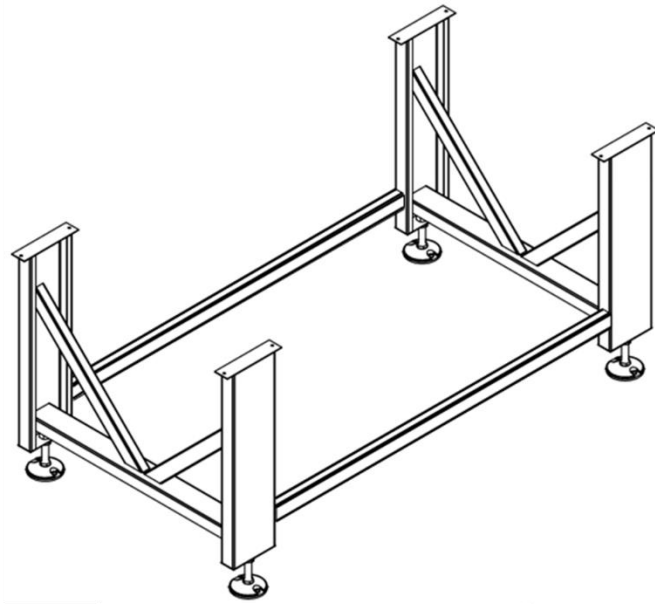
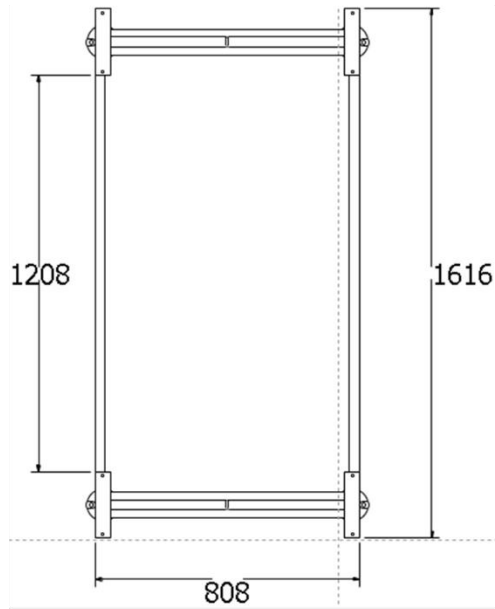
6. Usos: Para componentes estructurales en general.

Fuente: <https://www.sumiteccr.com/>

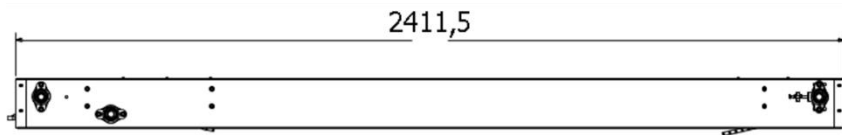
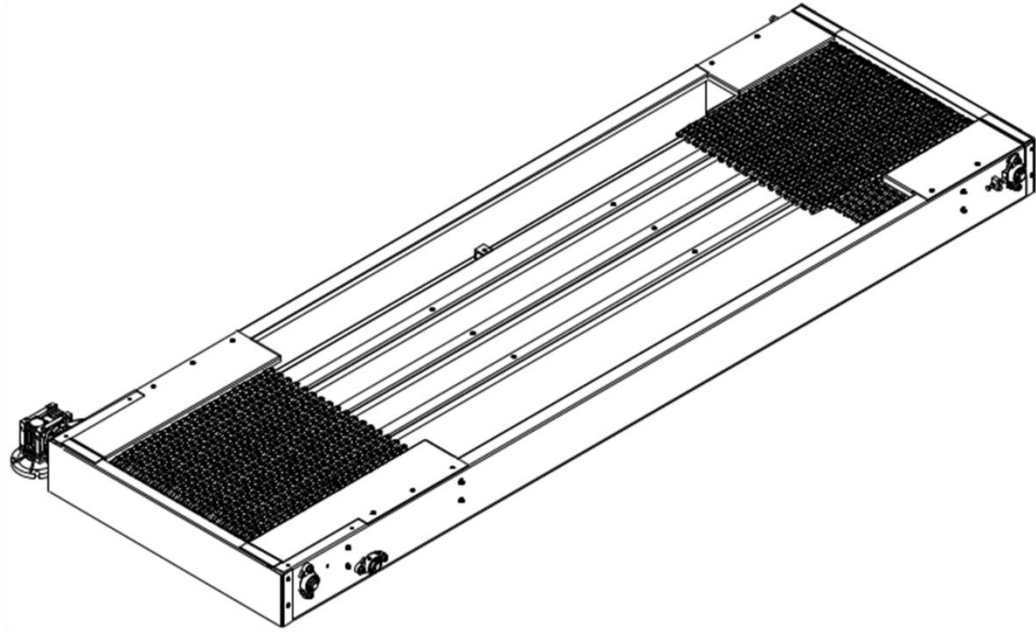
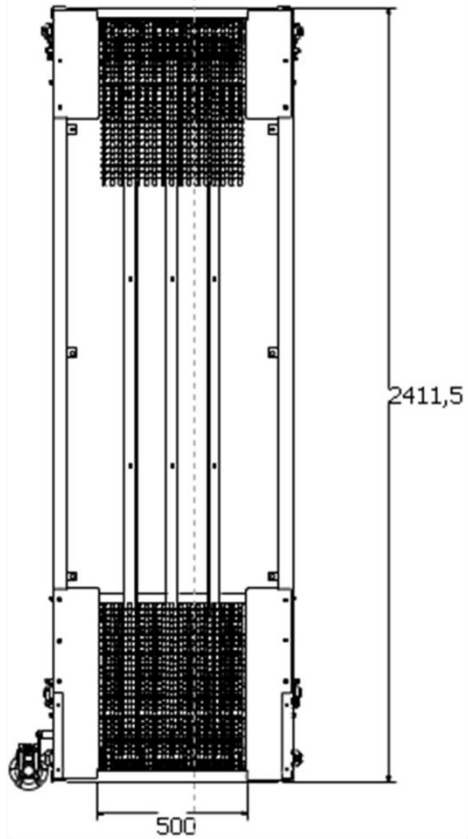
PLANOS



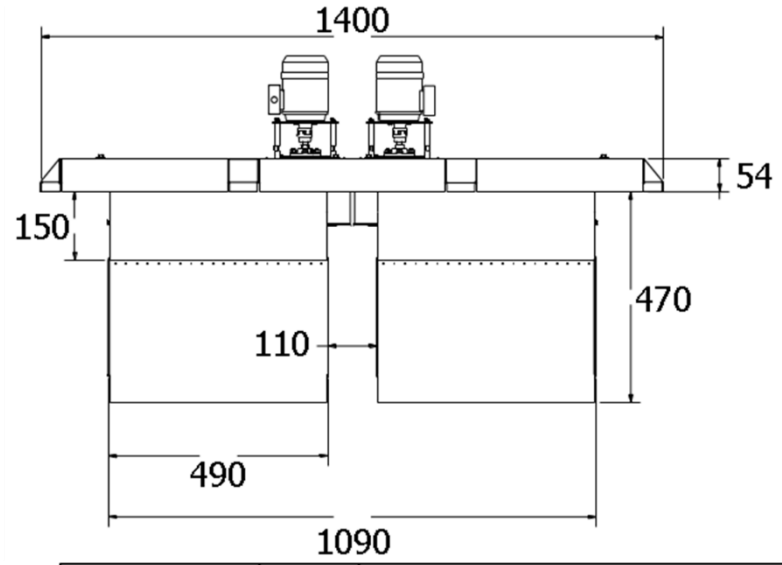
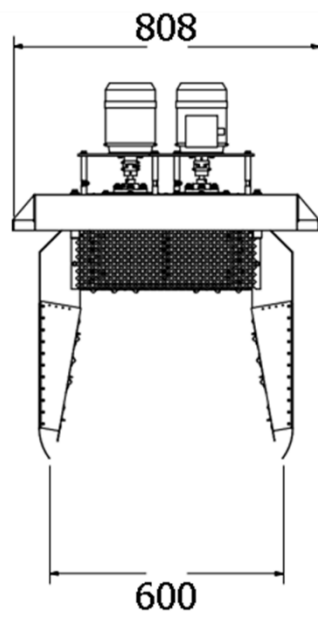
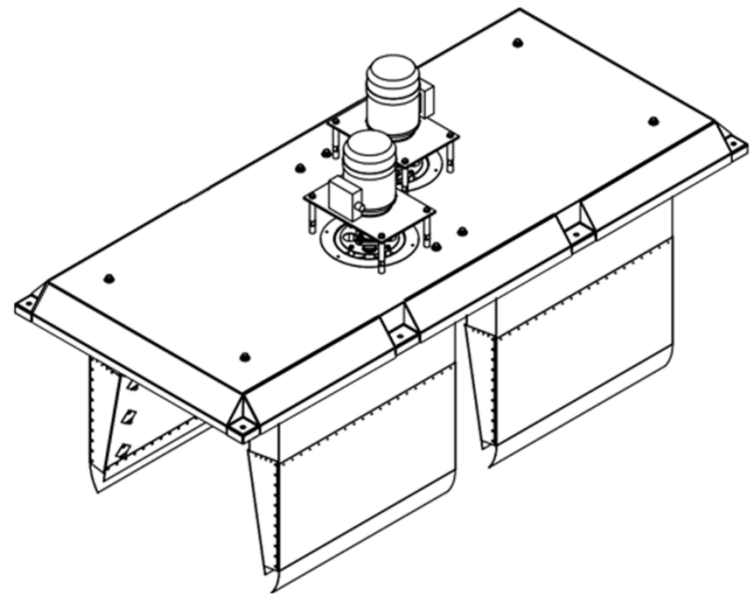
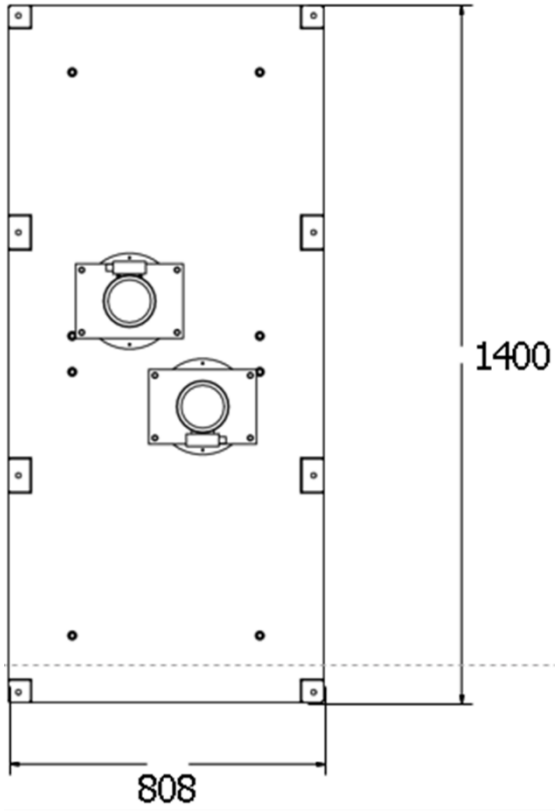
DRAWN	Jose Brito-Samuel Lovera	13/06/23		
CHECKED			TITLE	
QA				
MFG				
APPROVED				
		SIZE	DWG NO	REV
		D	1 ENS ESTRUCT EXTRACTOR	
		SCALE	1 / 1	SHEET 1 OF 1



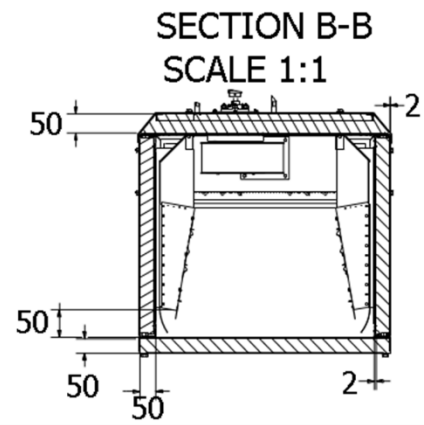
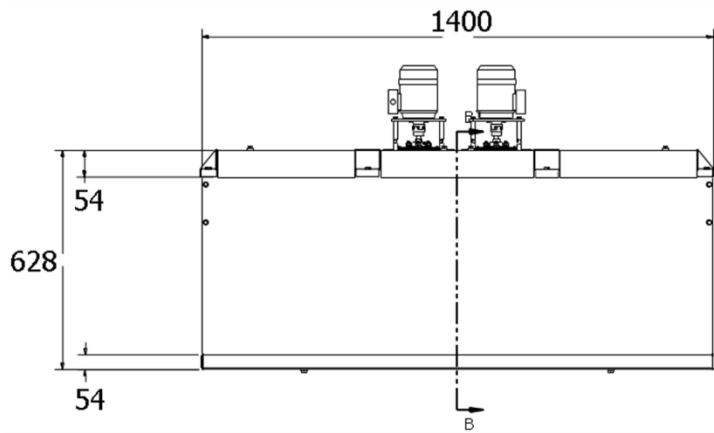
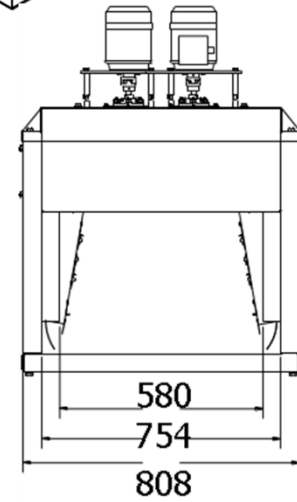
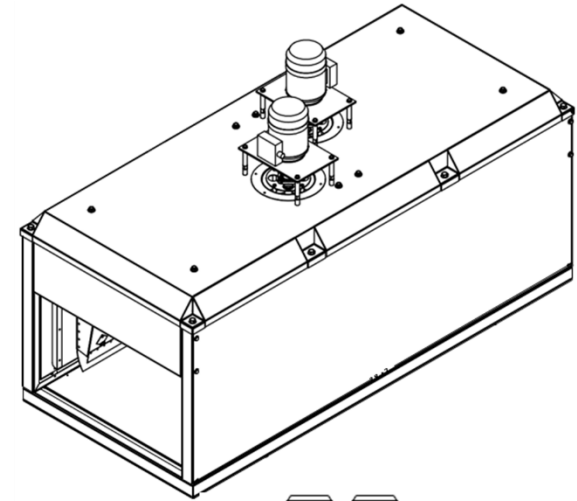
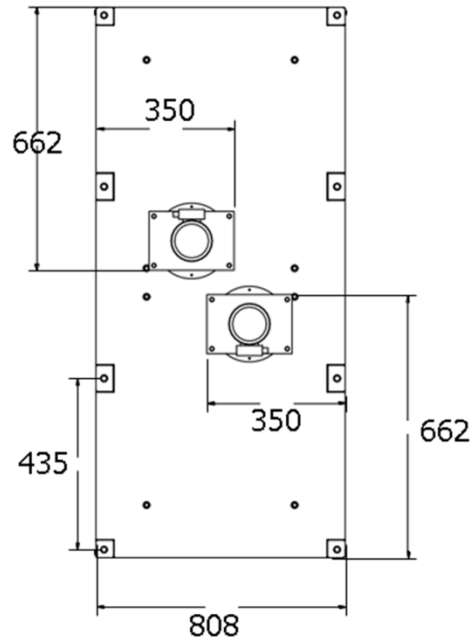
DRAWN	Jose Brito-Samuel Lovera	15-06-23		
CHECKED			TITLE	
QA				
MFG				
APPROVED				
		SIZE	DWG NO	REV
		D	2 ENS ESTRUCTURA SOPORTE TRANSP	
		SCALE	1:1	SHEET 1 OF 1



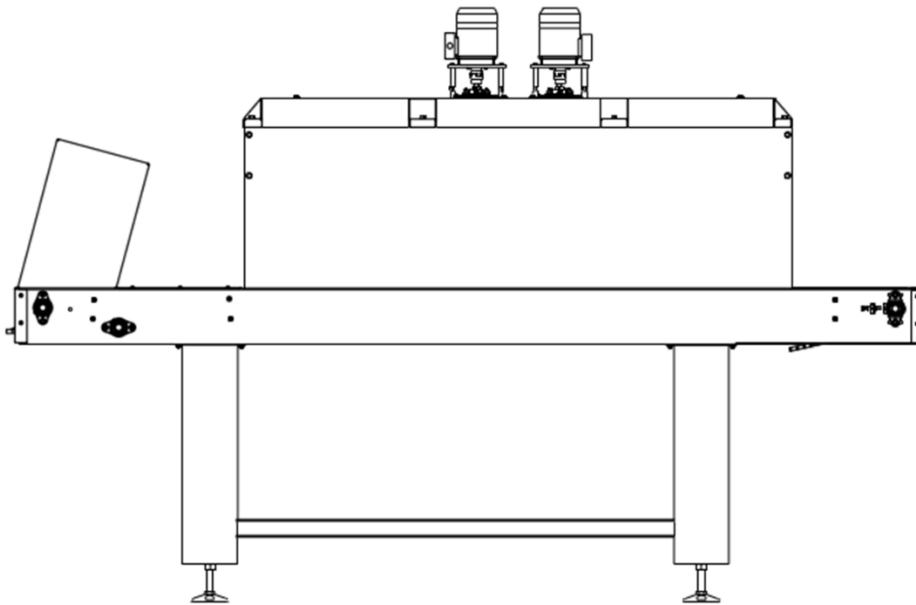
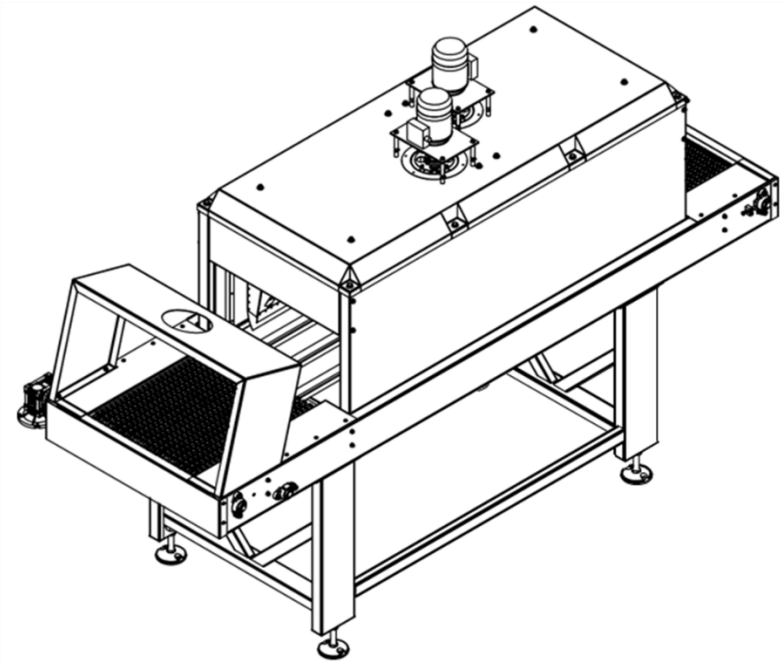
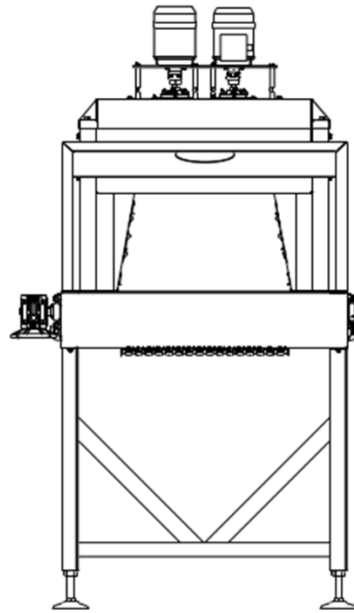
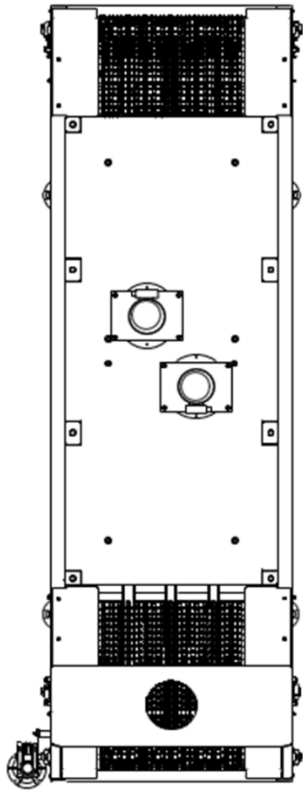
DRAWN			
Jose Brito-Samuel Lovera		15-06-23	
CHECKED			
QA		TITLE	
MFG			
APPROVED			
SIZE	D	DWG NO	REV
SCALE	1:1	3 ENS TRANSPORTADOR	
		SHEET 1 OF 1	



DRAWN Jose Brito-Samuel Lovera 15-06-23			
CHECKED		TITLE	
QA			
MFG			
APPROVED			
	SIZE D	DWG NO 4 CONJ TAPA SUPERIOR-1	REV
	SCALE 1:1	SHEET 1 OF 1	



DRAWN		Jose Brito-Samuel Lovera 15-06-23	
CHECKED			
QA			
MFG			
APPROVED			
SIZE	-	DWG NO	6 ENS HORNO
SCALE	1:1	REV	
		SHEET 1 OF 1	



DRAWN		Jose Brito-Samuel Lovera 15-06-23			
CHECKED				TITLE	
QA					
MFG					
APPROVED					
SIZE	D	DWG NO	7 ENS TUNEL DE TERMOENCOGIDO		REV
SCALE	1:1			SHEET 1 OF 1	