

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



TESIS

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TERMOCONTRAIDO, PARA OPTIMIZAR LA
PRODUCCIÓN EN LA LÍNEA DE EMPAQUETADO, DENTRO DE UNA PLANTA
EMBOTELLADORA DE AGUA**

PRESENTADO POR:

Br. PAUL RONALD YUCRA CANA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO**

ASESOR:

Dr. EDGAR ALFREDO CATAORA ACEVEDO

CUSCO - PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: Diseño de un sistema de termocontraído, para optimizar la producción en la línea de empaquetado, dentro de una planta embotelladora de agua.

presentado por: Paul Ronald Yucra Cerna con DNI Nro.: 41777937 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Mecánico.

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 3 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 02 de Agosto de 2024.



Firma

Post firma Dr. Edgar A. Catacora Caceredo

Nro. de DNI 23923057

ORCID del Asesor 0000-0001-6182-9814

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:371239904

NOMBRE DEL TRABAJO

Tesis túnel de termocontraído final 02-08-2024.pdf

AUTOR

Paul Ronald Yucra Cana

RECUENTO DE PALABRAS

31211 Words

RECUENTO DE CARACTERES

169473 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

210 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

10.5MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 2, 2024 9:51 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 2, 2024 9:54 AM GMT-5**● 3% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 2% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

PRESENTACIÓN

Distinguidos maestros:

Decano de la facultad de ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica.

Señores Docentes miembros del jurado.

Cumpliendo con las disposiciones del reglamento de grados y títulos vigentes de nuestra querida casa de estudios “Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco”, para poder optar al título académico de Ingeniero Mecánico, presento el trabajo de tesis intitulado: **“Diseño de un sistema de termocontraído, para optimizar la producción en la línea de empaquetado, dentro de una planta embotelladora de agua”**

El presente trabajo tiene por objetivo el desarrollo tecnológico, como parte del aporte que da la Ingeniería Mecánica a nuestra sociedad y particularmente a nuestra región. Con este fin aplicaremos todos los conocimientos de diseño y cálculo, además aplicaremos las normativas de construcción según nuestra experiencia propia para el diseño del túnel de termocontraído. Todo esto como parte de la investigación e innovación siguiendo el camino hacia el desarrollo de nuestra sociedad y consecuentemente del País.

Bach. Paul Ronald Yucra Cana

DEDICATORIA

A DIOS: Que siempre nos acompaña en todo momento, cuidándonos y protegiéndonos en los momentos difíciles, guiándonos en cada paso y decisiones importantes que tomamos en la vida y ayudarnos a alcanzar las metas que deseamos.

A MIS PADRES: a mí Papa Pablo que ya está en cielo que sé que desde allá siempre está pendiente de mí animándome espiritualmente, a mi Madre Benita, por encaminarme hasta lograr mis objetivos, por ser siempre mi fuerza y guía en todo momento.

A MIS HERMANOS: Walter, Sonia, Alfredo, Clorinda, Noely, por todo su apoyo y comprensión a lo largo de toda mi formación profesional.

A MIS PROFESORES: Por haberme dado los conocimientos, parte de su tiempo y experiencias a lo largo de toda la etapa universitaria y que hoy me permitieron concluir con este trabajo.

A AQUELLAS PERSONAS: Que nos brindaron su apoyo invaluable para que fuese posible la conclusión de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera aprovechar estas líneas para agradecer a todas las personas que han estado conmigo a lo largo de nuestra carrera universitaria de nuestra tan querida y prestigiosa tricentenario Universidad de San Antonio Abad del Cusco en la escuela profesional de Ingeniería Mecánica.

Quiero dedicar este trabajo de tesis a Dios por cuidarme y guiar mi camino en todo momento; a mis padres, a mis hermanos; a mi padre que está ya en el cielo seguramente está muy orgulloso viéndome desde el cielo, mi madre que es mi fuente de inspiración mi fuerza la persona que me brinda todo su apoyo, a mis hermanos y hermanas que cada paso me brindaron su apoyo y confiaron en mi para seguir adelante, ayudándome a superando muchos retos que se presentaron en la vida, también al resto de mi familia tíos , primos por su apoyo y siempre sentirse orgullosos de mí.

A mis maestros que nos brindaron los conocimientos de la ingeniería mecánica, grandes profesionales que tuve el gusto de poder conocerlos y ser alumno, y aprender de ellos nos permite conocer lo que significa ser un ingeniero mecánico.

A todos los compañeros de clase por permitirme compartir con ellos grandes y gratos momentos, el cual también son parte de nuestro desarrollo y compartimos hoy el gusto de ser colegas.

A los amigos colegas, compañeros de piso y de distintas escuelas que también contribuyeron a fortalecernos desde distintas perspectivas y puntos de vista a poder compartir y fortalecer nuestro desarrollo profesional.

A mí estimado asesor Ing. Edgar Catacora por su valioso apoyo que desde las aulas universitarias me brindo sólidos conocimientos de ingeniería, que hoy los pongos en práctica y por su generosa ayuda, sus ideas, su paciencia para poder presentar este trabajo.

Alas persona que nos han acompañado hasta la meta ingenieros, técnicos, entre otras profesiones que nos brindan su amistad y brindar conocimientos en la parte práctica de la ingeniería, el cual completan este anhelado sueño.

A todos ellos gracias de todo corazón.

RESUMEN

La industria alimentaria y de bebidas tiene un crecimiento importante en nuestro país, regiones como el cusco muestran principalmente este incremento en su consumo; de esta forma nuestra región tiene un crecimiento en cuanto a la producción de bebidas la cual podemos mencionar en específico agua como también las bebidas gasificadas, cervezas, etc. Por tanto el proceso productivo también debe de contar con más herramientas tecnológicas que ayuden en su procesamiento y desarrollo, además disminuir costos y tiempos de producción. Tenemos que considerar que el producto terminado cuente con una buena calidad y presentación así como de fácil transporte, en tal sentido para el proceso de embalaje se utiliza películas termoencogibles, esto para poder juntar varias botellas en un solo paquete.

En embalado de paquetes con películas termoencogibles consiste en envolver paquetes, la cual se transportan mediante una faja y pasa por un túnel denominado túnel de termocontraído, el calor dentro del túnel hace que la película se contraiga y tome la forma de las botellas agrupadas formando un paquete, listo para el transporte y posterior venta.

En nuestra región las empresas que producen agua, aún siguen utilizando métodos de embalaje manual, el cual hace que la producción sea más lenta y con un acabado no muy prolijo, traduciéndose de esta forma un mayor costo de producción.

Después de visitar varias empresas embotelladoras vi la necesidad de realizar el diseño de una máquina de termocontraído que ayude en el proceso de embalado en la línea de producción de una planta, para tener en claro lo que se necesita el proyecto, en principio se visitó a varias industrias que realizan el embalado para distintos productos y marcas y se llegó a la conclusión de Diseñar un túnel de termo contracción con condiciones y especificaciones similares, además de tener en cuenta la producción en N° de paquetes por minuto, dimensiones del paquete,

velocidad de transporte, temperatura, características del material, operación lo cual determina el dimensionamiento final.

Primeramente realizaremos un cálculo térmico en el túnel (se asemeja al comportamiento de una horna), cálculo de diseño para selección de elementos, utilizaremos método de diseño VDI para su diseño final, además un cálculo económico.

Se elaborara los planos de diseño con sus especificaciones técnicas.

Con este diseño se espera optimizar la operación de embalaje, mayor producción, mayor calidad y acabado con un menor costo-tiempo. Permitiendo además construir una maquina a nivel local pero competitivo respecto de máquinas que se pueden traer del extranjero, teniendo en cuenta las necesidades de un cliente en específico. Además de poder generar fuente de trabajo directo e indirecto en la región.

Esperando que el trabajo de investigación sirva como guía a otras tesis, también como parte de la bibliografía de nuestra universidad y además sea de ayuda útil al sector empresarial creciente en nuestra ciudad y región, además de poder dar la confianza que los equipos se pueden construir en nuestro medio con igual o mejor calidad que en el extranjero.

Palabras Claves: Diseño, Túnel de Termocontraído, polietileno, película termoencogible

ABSTRACT

The food and beverage industry has significant growth in our country, regions such as Cusco mainly show this increase in consumption; In this way, our region has growth in the production of beverages, which we can specifically mention water as well as carbonated drinks, beers, etc. Therefore, the production process must also have more technological tools that help in its processing and development, as well as reduce production costs and times. We have to consider that the finished product has good quality and presentation as well as easy transportation. In this sense, heat-shrinkable films are used for the packaging process, in order to be able to combine several bottles in a single package.

Packing packages with heat-shrinkable films consists of wrapping packages, which are transported using a belt and pass through a tunnel called a heat-shrink tunnel. The heat inside the tunnel causes the film to contract and take the shape of the grouped bottles, forming a package, ready for transport and subsequent sale.

In our region, companies that produce water still continue to use manual packaging methods, which makes production slower and with a not very neat finish, thus translating into higher production costs.

After visiting several bottling companies, I saw the need to design a heat-shrinking machine that would help in the packaging process on the production line of a plant. To be clear about what the project needed, I first visited several industries that carry out packaging for different products and brands and the conclusion was reached to design a thermo-shrink tunnel with similar conditions and specifications, in addition to taking into account production in number of packages per minute, package dimensions, speed transport, temperature, material characteristics, operation which determines the final sizing.

First we will carry out a thermal calculation in the tunnel (it resembles the behavior of a furnace), a design calculation for the selection of elements, we will use the VDI design method for its final design, as well as an economic calculation.

Design plans will be prepared with their technical specifications.

With this design, it is expected to optimize the packaging operation, greater production, higher quality and finishing with lower cost-time. Also allowing a machine to be built locally but competitive with respect to machines that can be brought from abroad, taking into account the needs of a specific client. In addition to being able to generate a source of direct and indirect work in the region.

Hoping that the research work will serve as a guide to other theses, also as part of the bibliography of our university and will also be of useful help to the growing business sector in our city and region, in addition to being able to give confidence that teams can be built. in our environment with equal or better quality than abroad.

Keywords: Design, shrink tunnel, Polietilene, heat shrinkable film

ÍNDICE GENERAL

PRESENTACIÓN	1
RESUMEN	4
ABSTRACT	6
ÍNDICE GENERAL	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
ÍNDICE DE FIGURAS	14
ABREVIATURAS.....	17
LISTA DE SIGLAS	18
INTRODUCCIÓN	19
CAPÍTULO I	21
1. ASPECTOS GENERALES.....	21
1.1 Localización.....	21
1.2 Planteamiento y antecedentes del problema.	22
1.3 Formulación del problema	23
1.3.1 Problema general	23
1.3.2 Descripción del problema.....	23
1.4 Objetivos.	24
1.4.1 Objetivo general.....	24
1.4.2 Objetivos específicos.....	24
1.5 Justificación.	24
1.6 Hipótesis.....	26
1.7 Variables de diseño	26
1.7.1 Variable independiente de diseño.....	26
1.7.2 Variable dependiente de diseño.....	26
1.8 Alcances y limitaciones	26
1.8.1 Alcances	26
1.8.2 Limitaciones de estudio	27
1.9 Metodología.....	27
1.9.1 Tipo de investigación.....	28
1.9.2 Nivel de investigación.	28

1.9.3	Diseño de la investigación.....	29
1.10	Estado del arte.....	29
1.11	Características de operación de las películas termoplásticas.....	33
1.11.1	Polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE).....	33
1.11.2	Polietileno de baja densidad (LDPE).....	34
1.11.3	Polietileno de PVC.....	35
CAPÍTULO II.....		36
2	MARCO TEÓRICO.....	36
2.1	Antecedentes de la investigación.....	36
2.2	Base teórica de la termocontracción.....	36
2.2.1	Proceso de embalaje térmico.....	36
2.2.2	Definición de la Termocontracción.....	37
2.3	Metodología en el proceso de diseño en ingeniería.....	39
2.4	Metodologías de diseño en Ingeniería Mecánica.....	39
2.4.1	Modelo de fases de Michael French.....	39
2.4.2	Modelo de Robert Norton.....	40
2.4.3	Modelo Pahl y Beitz.....	42
2.4.4	Modelo VDI 2221.....	43
2.4.5	Modelo de Design Thinking.....	44
2.5	Teoría de transferencia de calor.....	45
2.5.1	Entrega de calor por conducción.....	46
2.5.2	Entrega de calor por convección.....	47
2.5.3	Entrega de calor por radiación.....	47
2.6	Teoría de diseño de máquinas.....	48
2.7	Descripción de transferencia de calor.....	50
2.8	Características y requerimientos para el diseño.....	50
2.8.1	Carga y dimensión de los paquetes.....	51
2.8.2	Dimensionamiento de las longitudes principales de la máquina.....	51
2.8.3	Flujo de producción de paquetes en la planta.....	52
2.8.4	Rapidez de la cadena transportadora.....	52
2.8.5	Temperatura requerida dentro del túnel.....	52

2.8.6	Características de material película termoencogible	53
2.9	Concepto de vibración.....	54
2.9.1	Tipos de vibración.....	57
2.9.2	Aislamiento de vibraciones	57
CAPÍTULO III.....		60
3	DISEÑO CONCEPTUAL DE TÚNEL DE TERMOCONTRAIDO.....	60
3.1	Metodología de diseño VDI.....	60
3.2	Fases del proceso de diseño	60
3.3	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	63
3.3.1	Técnicas de recolección de datos.....	63
3.3.2	Instrumentos lista de exigencias, recolección de datos.....	63
3.4	Determinación de estructura y funciones de diseño.....	65
3.4.1	Abstracción: Caja negra (Black - Box).....	65
3.5	Procesos técnicos (secuencia de operación)	67
3.5.1	Fijar los procesos técnicos.....	67
3.5.2	Descripción del proceso	67
3.6	Secuencia y principios tecnológicos arranque y puesta a punto.	68
3.7	Fijación de procesos técnicos	69
3.8	Aplicación de sistemas técnicos y limitaciones	70
3.9	Estructura de funciones:	71
3.10	Matriz morfológica	72
3.11	Prototipo de alternativas de solución.....	74
3.12	Evaluación de valoración técnico para el concepto solución planteado.....	76
3.12.1	Evaluación técnica para el diseño.....	77
3.12.2	Evaluación económica para el diseño	78
3.13	Selección del túnel de termocontraído óptimo.....	78
CAPÍTULO IV.....		80
4	CÁLCULO TÉRMICO EN LA CÁMARA DE TÚNEL.....	80
4.1	Consideraciones térmicas de la cámara	80
4.1.1	Proceso continuo.....	80
4.1.2	Proceso intermitente	81

4.2	Análisis energético de túnel térmico	81
4.2.1	Análisis de energía en condición estable	82
4.2.2	Análisis de energía en condición real.....	82
4.3	Calor requerido para la termocontracción del file	83
4.4	Calculo de pérdidas de calor en el túnel.....	107
4.4.1	Pérdidas de calor en paredes (paredes laterales y superior).....	107
4.4.2	Pérdidas de calor en cadena transportadora (pared inferior).....	115
4.4.3	Pérdidas de calor a la entrada y salida de túnel	119
4.5	Calor total requerido por el túnel	120
CAPÍTULO V.....		124
5	CÁLCULO Y DISEÑO MECÁNICO PARA TÚNEL DE TERMOCONTRAIDO	124
5.1	Cálculo y dimensionamiento de túnel.....	124
5.2	Calculo de elementos de la banda transportadora.....	124
5.2.1	Cálculo y selección de cadena transportadora	124
	Calculo de diámetro de ruedas (piñón).....	130
5.2.2	Calculo del diámetro mínimo del eje de transmisión.	131
5.2.3	Selección de chumaceras.....	133
5.2.4	Cálculo y selección de motoreductor	134
5.3	Cálculo y selección de turbina de aire	137
5.4	Cálculo y selección de ventilador para enfriamiento.	137
5.5	Selección de cortinas térmicas para túnel.....	138
5.6	Dimensionamiento de estructura y carcása del túnel	139
5.7	Análisis de la estructura que soporta el túnel.....	139
5.8	Cálculo y selección de aisladores de vibración	145
	Elección y posición de los aisladores	147
5.8.1	Calculo de Transmisibilidad	151
CAPÍTULO VI.....		155
6	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	155
6.1	Especificaciones técnicas de materiales.....	155
6.2	Descripción del equipo	159
6.3	Características principales	159

6.4	Dimensiones principales.....	159
6.4.1	Descripción gráfica del equipo.....	161
CAPÍTULO VII.....		164
7	COSTO Y PROSUPUESTO DEL TUNEL DE TERMOCONTRAIDO	164
7.1	Introducción.....	164
7.2	Costos directos y costo de operación de túnel	164
7.2.1	Resumen de los costos directos.....	164
7.2.1.1	Costo y metrado de materiales.....	165
7.2.1.2	Metrado de maquinado, y construcción de componentes	167
7.2.1.3	Metrado de diseño, construcción y ensamblaje.	168
7.2.2	Costos de operación	168
7.3	Costo de inversión	170
CONCLUSIONES.....		173
RECOMENDACIONES.....		175
Bibliografía.....		176
PLANOS		178

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 <i>Condiciones meteorológicas para el Distrito de San Jerónimo en Cusco</i>	22
Tabla 3.1 <i>Lista de Exigencias, Recolección de Datos</i>	64
Tabla 3.2 <i>Criterio de Evaluación Técnica</i>	77
Tabla 3.3 <i>Criterio de Evaluación Económica</i>	78
Tabla 4.1 <i>Propiedades Termodinámicas De Los Componentes De La Carga</i>	96
Tabla 4.2 <i>Variación de valores de coeficiente de transferencia de calor por convección</i>	97
Tabla 4.3 <i>Propiedad del Aire en el entorno de las Paredes</i>	110
Tabla 5.1 <i>Carga Actuante Sobre La Estructura</i>	139
Tabla 5.2 <i>Perfiles Utilizados para Estructura</i>	145
Tabla 6.1 <i>Especificaciones Técnicas de Materiales Para Construcción de Túnel de Termocontraído</i>	155
Tabla 6.2 <i>Componentes Principales Del Túnel De Termocontraído</i>	161
Tabla 6.3 <i>Principales Componentes del Tablero de Control</i>	163
Tabla 7.1 <i>Resumen de Costos Directos</i>	165
Tabla 7.2 <i>Costo De Materiales Con Referencia A Marzo Del 2023</i>	165
Tabla 7.3 <i>Metrado de Componentes Maquinados</i>	167
Tabla 7.4 <i>Metrado de Diseño y Construcción</i>	168
Tabla 7.5 <i>Costo de KW-h en la Ciudad Del Cusco</i>	169
Tabla 7.6 <i>Costo Operativos de una Máquina</i>	169
Tabla 7.7 <i>Costo Operativos del Túnel de Termocontraído</i>	171

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 <i>Ubicación de la Planta Embotelladora de Agua</i>	21
Figura 1.2 <i>Termocontraído Manual con Quemador de Glp</i>	23
Figura 1.3 <i>Túnel de Termocontraído a Vapor</i>	30
Figura 1.4 <i>Túnel de Termocontraído con Infrarrojos</i>	31
Figura 1.5 <i>Túnel de Termocontraído Convectivo</i>	32
Figura 2.1 <i>Modelo De Fases de Michael French, 1985</i>	40
Figura 2.2 <i>Modelo de Robert Norton</i>	41
Figura 2.3 <i>Modelo Pahl y Beitz</i>	43
Figura 2.4 <i>Modelo VDI 2221</i>	44
Figura 2.5 <i>Modelo de Design Thinking</i>	45
Figura 2.6 <i>Dimensiones de paquete</i>	51
Figura 2.7 <i>Diagrama de porcentaje de contracción vs temperatura de diferentes termoplásticos</i>	53
Figura 2.8 <i>Velocidad en Función del Desplazamiento de un MAS</i>	54
Figura 2.9 <i>Aceleración en Función de desplazamiento de un MAS</i>	55
Figura 2.10 <i>Sistema de movimiento vibratorio masa-muelle</i>	56
Figura 3.1 <i>Fases de Diseño</i>	61
Figura 3.2 <i>Caja Negra (Black-Box)</i>	65
Figura 3.3 <i>Estructura de Funciones del Túnel de Termocontraído</i>	71
Figura 3.4 <i>Matriz de Funciones</i>	73
Figura 3.5 <i>Túnel de Termocontraído con Accionamiento por Fajas</i>	74
Figura 3.6 <i>Túnel de Termocontracción con quemadores de rayos infrarrojos</i>	75

Figura 3.7 <i>Túnel de Termocontracción con quemadores a glp</i>	75
Figura 3.8 <i>Túnel de Termocontraído con Quemadores Eléctricos</i>	76
Figura 3.9 <i>Evaluación Entre Criterio Técnico y Económico</i>	79
Figura 4.1 <i>Conducción a un Nodo Interior Desde sus Nodos Contiguos</i>	89
Figura 4.2 <i>Balace de Energía en Cada Punto de la Capa Múltiple del Paquete</i>	90
Figura 4.3 <i>Conducción de Materiales</i>	91
Figura 4.4 <i>Distribución de Temperatura de Carga Respecto de Tiempo de Carga</i>	105
Figura 4.5 <i>Pared Compuesta de Túnel de Termocontraído</i>	108
Figura 4.6 <i>Circuito Térmico de la Pared Compuesta</i>	108
Figura 4.7 <i>Desplazamiento de Cortina Térmica</i>	119
Figura 4.8 <i>Transferencias De Calor De Flujo Externo</i>	121
Figura 5.1 <i>Cargas Actuantes Distribuidas</i>	140
Figura 5.2 <i>Carga Distribuida En Soporte Izquierdo</i>	140
Figura 5.3 <i>Carga Distribuida A lo Largo De La Viga</i>	141
Figura 5.4 <i>Selección de Material para Estructura de Túnel AISI 304</i>	142
Figura 5.5 <i>Asignación de los Puntos de Apoyo del Viga de la Estructura Sobre los Soportes</i> .	142
Figura 5.6 <i>Carga Distribuida a lo Largo de la Viga</i>	143
Figura 5.7 <i>Análisis Estático de Tensión Nodal</i>	143
Figura 5.8 <i>Resultado del Desplazamiento Estático cuando se Aplica la Carga del Sistema</i>	144
Figura 5.9 <i>Plancha Inoxidable con Espesor 2mm</i>	144
Figura 5.10 <i>La Estructura está Conformada por 2 Vigas Unidas por Viguetas</i>	145
Figura 5.11 <i>El Peso de la Carga se Distribuirá en 4 Aislantes</i>	148
Figura 5.12 <i>Centro de Gravedad esta Entre los Puntos a y b</i>	149

Figura 5.13 <i>El Centro de Gravedad del Lado Lateral</i>	149
Figura 5.14 <i>Transmisibilidad en Función de la Relación de Frecuencias</i>	154
Figura 6.1 <i>Principales Vistas del Túnel</i>	160
Figura 6.2 <i>Componentes del Túnel</i>	161
Figura 6.3 <i>Elementos Principales del Tablero de Control</i>	162
Figura 7.1 <i>Costo Operativo Durante un Año de Servicio</i>	170

ABREVIATURAS

Kg	kilogramo
C_p	Calor específico a Presión Constante
T	Temperatura
ρ	Densidad
W	Watts
$^{\circ}C$	Grados centígrados
$^{\circ}K$	Grados Kelvin
h_c	Coefficiente <u>Convectivo</u>
k	Conductividad Térmica
μ	Viscosidad Dinámica
m^3	Metro Cubico
m^2	Metro cuadrado
V	Volumen
m	Metro
\dot{m}	Flujo Másico
Q	Calor
E	Energía
ϵ	<u>Emisividad</u>
σ	Constante de Estefan- <u>Boltzmann</u>
P	Potencia
l	Litros
J	Joule
g	gramos
mm	milímetros
s	segundos
f	Coefficiente de Fricción
Re	Reynolds
ΔP	Caída de Presión
Kw	Kilo Watts
t	Tiempo
N	Newton
Ra_L	<u>Rayleigh</u>
Nu_l	<u>Nusselt</u>
R_T	Resistencia Térmica
Pr	Numero de <u>Prant</u>
n_1	Velocidad angular
Z_1	Numero de Dientes
C	Distancia entre centros
τ_1	Esfuerzo Cortante
f_h	Factor de vida para rodamientos
i	Relación de transmisión
f_n	Frecuencia Natural
T_f	Temperatura Pelicular

LISTA DE SIGLAS

ANSI: American National Standards Institute (Instituto americano nacional de estándares)

ASME: American Society of Mechanical Engineering (Sociedad Americana de ingenieros mecánicos)

LDPE: (Low density polyethylene) Polietileno de baja Densidad

MAS: Movimiento armónico simple

PEAD: Polietileno de Alta Densidad

PET: Polietileno Tereftalato

PVC: Policloruro de Polivinilo

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e hidrografía del Perú

TIG: Tungsten Inert Gas

TIR: Tasa de interés de retorno

VAN: Valor Actual neto

VDI: Verein Deutscher Ingenieure (Asociación Alemana de Ingenieros)

INTRODUCCIÓN

La evolución de la industria nos permite orientar el desarrollo de más tecnologías que son necesarias para optimizar los procesos de producción. En el presente trabajo de tesis desarrollaremos un túnel de termocontraído bajo una premisa que enfoca el planteamiento tecnológico de Ingeniería Mecánica la cual abarca conocimientos de diseño conceptual, cálculo térmico, diseño mecánico, especificaciones técnicas y costos de construcción.

En el capítulo I, desarrolla los aspectos generales, se plantea la formulación del problema a resolver, los objetivos, la hipótesis, las variables, la justificación, el alcance, limitaciones, metodología y el estado del arte.

En el capítulo II, desarrolla el marco teórico, tipos de metodología de diseño mecánico, descripción de conceptos teóricos la termocontracción, transferencia de calor, cálculos mecánicos y estructurales.

En el capítulo III, desarrolla el Diseño Conceptual del túnel de termocontraído, uso de directiva VDI, fases de diseño, tipo, nivel, técnicas de recolección de datos, procesos técnicos, descripción de proceso, evaluación técnica, evaluación económica.

En el capítulo IV, desarrolla cálculo térmico, análisis térmico, balance energético, cálculo de balance energético, calor entregado del paquete, cálculo de carga, calor requerido para el proceso de termoencogido.

En el capítulo V, desarrolla cálculo y dimensionamiento del túnel, cálculo de la cadena transportadora, selección de componentes y equipos mecánicos, análisis de estructura que soporta el túnel.

En el capítulo VI, desarrolla las especificaciones técnicas de componentes y materiales, descripción del equipo, descripción grafica de equipo.

En el capítulo VII, desarrolla los costos de construcción del equipo, metrado costos unitarios, costos directos, costo de operación.

Finalmente la tesis concluye con las conclusiones, recomendaciones, apéndice, anexos y planos.

CAPÍTULO I

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 Localización

Lugar de proyecto: Para referencia del presente trabajo consideraremos la dirección de una planta embotelladora de agua ubicado en Calle Romeritos J – 11, Distrito de San Jerónimo, provincia Cusco y departamento de Cusco ubicado en las siguientes coordenadas según detalle de planos de establecimiento.

Coordenadas: 13°32'34"S 71°52'49"W

Ubicación de la planta Embotelladora de Agua

Figura 1.1

Ubicación de la Planta Embotelladora de Agua



Fuente: Imagen Tomada desde el Google Earth Pro Junio, 2023

Condiciones Meteorológicas

La planta embotelladora se encuentra en el distrito de San Jerónimo y detallamos los siguientes datos meteorológicos.

Tabla 1.1
Condiciones meteorológicas para el Distrito de San Jerónimo en Cusco

Descripción	Valor	Observación
Altitud de la Planta Embotelladora de agua	3390 msnm	Datos extraídos de planos de ubicación
Temperatura máxima anual	21.6°C	Senamhi 2021
Temperatura mínima anual	1.5°C	Senamhi 2021
Temperatura media anual	12.34°C	Senamhi 2021
Presión atmosférica promedio anual	511.434 mm Hg	UNSAAC San Jeronimo - Qayra - 2023

Fuente: Extraída de servicio nacional de hidrografía y meteorología

1.2 Planteamiento y antecedentes del problema.

El incremento poblacional en la región genera un mayor movimiento económico, así mismo el mercado en general (población, la industria, el turismo, el sector agrario, la minería, etc.) genera una mayor demanda de productos de consumo principalmente hablaremos de las bebidas, como es el agua embotellada, el cual ha tenido una importante aumento en su consumo, por lo tanto esto obliga a que la empresa mejore los estándares de calidad y optimice toda la línea de producción haciendo el uso de la mecanización y automatización para poder llegar a cubrir la demanda que requiere el mercado.

Se tiene una importante cantidad de empresas Cusqueñas dedicadas a la producción de bebidas los cuales requieren mejorar sus procesos de producción, en el caso de nuestra empresa embotelladora de agua, tiene una carencia en el proceso de empaquetado puesto que para el proceso de embalado térmico requiere de 3 a 4 operarios para dicho proceso el cual consiste en 1 trasladar el paquete, 2 maniobrar el paquete, 3 flamear el paquete 4 verificación y empilado de paquetes; durante este proceso se puede tener pérdidas por un mal proceso en el flameado, quemaduras en el envoltorio o un deficiente acabado debido al fuego directo hacia el paquete.

Figura 1.2

Termocontraído Manual con Quemador de Glp



Fuente: Imagen Tomada en la Planta Embotelladora de Agua Cusco noviembre 2023

Frente a este problema descrito en el proceso de empaquetado, es necesario dar como solución el cálculo y diseño de un túnel de termocontraído que permita cumplir con las características y especificaciones necesarias para realizar el proceso de termoencogido de los files que envuelven los paquetes además de adecuarse al flujo de producción de la planta.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿Cómo desarrollar el diseño de un equipo de termocontraído para optimizar la producción en la etapa de empaquetado de botellas de agua en la línea de producción de una planta embotelladora?

1.3.2 Descripción del problema

La problemática que existe en la producción de la planta embotelladora en sus productos son; los paquetes no tiene un buen acabado en su embalaje, usan mayor cantidad de personal, mayor

cantidad de insumos y herramientas, al usar quemadores (llama directa) para la termoretracción de los paquetes se vuelve una fuente de peligro dentro de la planta.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general

Calcular y diseñar una máquina de termocontraído para mejorar y optimizar la producción en la zona de empaquetado en la línea de producción de la planta embotelladora de agua.

1.4.2 Objetivos específicos

- Adaptar una metodología de diseño para conseguir un diseño conceptual de un túnel de termocontraído.
- Determinar los parámetros térmicos que permiten el proceso de termo contracción plástica, haciendo uso de conceptos térmicos y transferencia de calor.
- Determinar los parámetros de diseño mecánico para el funcionamiento de una faja transportadora y todos sus componentes, dimensionamiento adecuado de la estructura que soporta todo el túnel de termocontraído.
- Desarrollar las especificaciones técnicas de los componentes y materiales que necesita el túnel de termocontraído.
- Desarrollar los costos y presupuestos del túnel de termocontraído.

1.5 Justificación.

Para justificar el presente trabajo tomaremos en consideración los siguientes aspectos.

- Técnica:
El estudio de las propiedades térmicas y mecánicas nos ayuda a orientar y mejorar nuestras técnicas en la ingeniería mecánica, nos permite conocer a detalle como es el

principio y el funcionamiento de un túnel de termocontraído usando los principios térmicos, analizando como es el proceso de la termocontracción de los envoltorios, asegurar que la estructura que soporta la maquina no falle, y que todos los componentes mecánicos tengan un correcto funcionamiento.

➤ Social

El estudio y diseño de un túnel de termocontraído, nos brindara resultados numéricos térmicos, mecánicos y que posteriormente nos posibilitara su desarrollo constructivo, es importante mencionar que al tener la posibilidad de construir una maquina tiene un impacto dentro de la sociedad en particular en el sector industrial porque genera oportunidad en forma directa e indirectamente, por lo cual formara parte del crecimiento empresarial de nuestra región, esta es una razón para que pueda motivar a más jóvenes a continuar carreras técnicas como también universitarias en esta área de la mecánica industrial.

➤ Económica

El reemplazo de una maquina por mano de obra directa siempre trae ventajas como son el ahorro de tiempo, materiales, mano de obra técnica, mejor calidad de acabado en el producto todo esto se traduce por una reducción en los costos operativos de la planta de agua. Además que al tener tecnología local nos permite tener mayor facilidad en el mantenimiento y operatividad de la maquina evitándonos de esta forma estar importando repuestos y otros insumos.

➤ Ambiental

El túnel de termocontraído nos permite dejar el uso de fuego directo, toda combustión genera un grado de contaminante para el ambiente además representa peligro latente ya que se expone fuego directo en el momento que se realiza la operación, por tal razón es importante la implementación de una maquina térmica que nos ayude con este proceso de

manera más rápida eficaz y segura, además tenemos la posibilidad de usar files biodegradables y también reciclarlas con mayor facilidad para evitar la contaminación con el ambiente.

➤ Teórica

El presente trabajo nos permitirá conocer de manera práctica el funcionamiento de un túnel de termocontraído y lo que implica su desarrollo a partir de los cálculos térmicos, mecánicos, metodología de diseño, materiales y proceso constructivo esto nos permitirá ampliar nuestras fronteras en el conocimiento de máquinas y tecnologías usadas en la industria de las bebidas.

1.6 Hipótesis.

El cálculo y diseño de un equipo de termocontraído nos permitirá dar una probable solución para cubrir la necesidad de optimizar la producción en la planta de embotellado de agua.

1.7 Variables de diseño

Para el cálculo y diseño es importante reconocer las variables.

1.7.1 Variable independiente de diseño

Dimensiones del paquete (m^3), peso del paquete (Kg), Flujo de carga (kg/s)

1.7.2 Variable dependiente de diseño

Diseño de un túnel de termocontraído

1.8 Alcances y limitaciones

1.8.1 Alcances

El desarrollo del presente trabajo abarca:

- Se utilizara una metodología de diseño el cual permita clarificar y planificar el desarrollo del trabajo.
- Se realizará el cálculo térmico, calor requerido para completar el proceso de termocontraído.
- Se realizará el cálculo mecánico, de cada componente de la cadena transportadora y de la estructura que soporta el equipo.
- Se realizará las especificaciones técnicas de los componentes de la máquina.
- Se realizará el análisis de costo.

1.8.2 Limitaciones de estudio

Consideraremos las siguientes limitaciones:

- Para el cálculo y diseño tomaremos como constante la carga del paquete constituido por 6 unidades de botellas con capacidad de 2 litros como máximo, además es importante considerar sus dimensiones y propiedades de los files que sirven de envoltorio a los paquetes.
- Para el estudio térmico tomaremos como referencia las características y propiedades de las películas termoencogibles comerciales que son de uso común en nuestro mercado, existen otras películas pero están requieren otros parámetros para su proceso de termoencogido. Realizaremos los cálculos en base a las temperaturas recomendadas por el fabricante de los files.
- Para el cálculo mecánico tomaremos como base el flujo de producción de la planta.
- Las especificaciones técnicas de componentes y materiales serán solo a nivel descriptivo.

1.9 Metodología

Para usar una metodología de investigación podemos recurrir a un conjunto de herramientas que nos permitan elaborar un plan esto es crucial para garantizar la validez de resultados obtenidos.

- **Enfoque de la investigación.**

Describe una metodología cuantitativa, porque hace uso de parámetros numéricos a partir de cálculo teórico y diseño conceptual.

➤ **Alcance de prospecto**

El alcance de nuestro proyecto es descriptivo; puesto que se describe un proceso y secuencia de diseño para la construcción del túnel de termocontraído.

➤ **Diseño**

El diseño es no experimental debido a que no realizamos cambios en la variable independiente. Fuente (Espinoza Montes, 2014)

➤ **Análisis de datos o Muestra**

En nuestro diseño la muestra es no probabilística porque los procedimientos están orientados según los cálculos y características del presente trabajo.

Los recursos en la metodología de la investigación podemos mencionar lo siguiente:

- Tipo de investigación
- Nivel de investigación
- Diseño de investigación

1.9.1 Tipo de investigación.

Usaremos un tipo de diseño de nivel básico el cual propone identificar el problema, formular una hipótesis finalmente diseñar la investigación de este modo empezamos por la concepción del problema y se llega hasta lo planos de fabricación.

Según (Espinoza, 2014), la investigación básica tiene como propósito ampliar el conocimiento científico a partir de la observación del funcionamiento de los fenómenos de la realidad. Sus niveles son la exploración, descripción y explicación.

1.9.2 Nivel de investigación.

El tipo de investigación básica según el nivel de investigación son las siguientes:

- Investigación exploratoria.
- Investigación descriptiva.
- Investigación explicativa.

Para el desarrollo de nuestro trabajo de tesis usaremos la condición de diseño de tipo explorativo.

Espinoza explica que el desarrollo de una investigación explorativa, le da al investigador herramientas que amplifican su conocimiento, identifica y define de manera general el fenómeno o problema a investigar; Debemos saber que cuando se realiza este tipo de investigación no hay existencia de una hipótesis anterior, si no que esta la podemos deducir de un combinado de ideas el cual desarrollaremos durante la etapa de fases. Fuente (Espinoza Montes, 2014)

1.9.3 Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación es una organización esquematizada la cual propone una lista de exigencias según su importancia y luego elaborar objetivos según sean las circunstancias o requisitos para poder cumplir sus demandas o deseos siguiendo congruentemente los criterios de elección. Fuente (Espinoza Montes, 2014)

En la metodología de diseño es importante realizar un esquema que engloba todo el trabajo esto es una matriz de consistencia, está la describiremos en el apéndice 01.

1.10 Estado del arte

Los precedentes en el proceso de termoretracción, comenzó con la aplicación de fuego directo sobre el file que envuelve el paquete, con el tiempo estos fueron reemplazados con equipos térmicos que facilitan este trabajo, los túneles de termocontraído han estado mejorando, ahora son más compactos y tiene mejores rendimientos son fáciles de utilizar y se pueden automatizar adaptando al flujo de producción que tiene una planta; también depende del tipo de material el

tamaño y capacidad, los tipos de sellado los espesores de los files etc. A continuación veremos algunos de estos equipos que están desarrolladas según las capacidades y tipo de funcionamiento.

Las que más se destacan son:

➤ **Túnel de termocontraído a vapor:**

Este tipo de túnel ofrece una distribución de calor uniforme es el que termocontrae de una forma más uniforme es adecuado para envases de paredes redondas sin paredes rectas; para files menores a las 4.5 micras o menores a estas es adecuada para pack de botellas de vidrio y latas de metal, entre sus limitaciones tenemos que este sistema no es adecuado para ambientes fríos, también requieren una fuente separada para producir vapor (caldero) y equipos adicionales para remover la humedad excesiva y condensador cerca al túnel.

Figura 1.3
Túnel de Termocontraído a Vapor



Fuente: *Túnel de termocontraído a vapor WS-130 marca BENISON*

➤ **Túnel de termocontraído por infrarrojos (radiación):**

Se caracterizan por ser los más agresivos si se trata de encogido de los files son ideales para etiquetado, bandas de cuello de botella, se usan para termoencogido rápido en envases que puede modificar o alterar la exposición de calor dentro de su contenido como pueden ser productos químicos y farmacéuticos, en nuestro medio puede resultar algunos inconvenientes tanto en el costo y tiempo de mantenimiento. Pues algunos de sus accesorios no son muy comerciales en nuestro medio.

Figura 1.4
Túnel de Termocontraído con Infrarrojos



Fuente: *Túnel transportador de rayos infrarrojos Jorvic SA, dedicada a producir máquinas para la industria alimentaria y de bebidas*

➤ **Túnel de termocontraído de aire caliente (convección):**

Estos túneles calientan el aire a través de convección, son usados para los diferentes tipos de file. En este tipo de sistemas el aire puede ser calentado por medio de quemadores, resistencias eléctricas, intercambiador; etc. su fabricación resulta más ventajosa ya que cada uno de sus componentes es mucho más comercial aunque ocupan más espacio que el infrarrojo tiene un buen grado de versatilidad.

Figura 1.5
Túnel de Termocontraído Convectivo



Fuente: *KHS AG la firma de esta compañía Alemana especializada principalmente en bebidas.*

A continuación describiremos algunos trabajos, referenciados pues guardan algunas similitudes con nuestro presente trabajo.

- Tesis de pregrado; Diseño de túnel de calor para encoger sellos plásticos en la producción de envasado de vino.(Parra Higueta, Jhonny Rep - 2014)
Este diseño calienta el aire a través de convección directa lleva el flujo además el sistema es recirculante mediante ductos impulsados por ventiladores axiales.
- Tesis de pregrado; implementación y automatización de un túnel de calor para termoencogido (Mena Edwin y Alarcón Fernando 2012)
Este diseño implementa y automatiza la máquina con ayuda de un software el cual usa en el sistema de proceso de llenado.
- Tesis de pregrado; implementación de un módulo interactivo de un sistema termoretractil con un PLC para laboratorio de automatización (Escobar Lenin y Tovar Vladimir 2015)
Este proyecto se fundamenta en la implementación de un módulo interactivo de sistema de termoretracción con un PLC para laboratorio de automatización este está enfocado a la programación mediante un controlador lógico.

1.11 Características de operación de las películas termoplásticas.

El file de tipo termocontraído tienen la propiedad de deformarse y tomar la forma de la carga o masa al cual lo contiene, este material además suele ser bastante resistente por lo cual es utilizado para poder transportar, y almacenar apilando unos con otros. Los materiales termoencogibles al entrar en contacto con el calor necesario incrementan la excitación molecular este hace que las fuerzas de tracción actúen encogiendo la película, de esta forma son fácilmente deformables y sus propiedades termoplásticas son útiles.

Al volver a la temperatura ambiente completan su proceso de termoencogido, recuperando sus propiedades mecánicas iniciales. Las películas termoencogibles tienen diferente tipo de materiales, mencionaremos algunas de las más importantes.

1.11.1 Polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE)

Los materiales plásticos de polietileno están compuestos molecularmente por cadenas lineales (rectas) sin espacios vacíos, por tanto la cohesión de moléculas es elevada. A estos plásticos termoretractiles contienen importantes propiedades de dureza, resistencia, tenga buena rigidez y sea estable durante el periodo de retracción. (Córdova, 2004)

El PEAD (polietileno de alta densidad) o HDPE (high density polyethylene) cuya composición del polietileno está compuesta de sustrato con una densidad que está por debajo de 0,940 g/cm³ con un equivalente de fusión que esta va en relación de 0.1 a 10; este compuesto está formada por multicapas teniendo como base un copolimero de propileno y forradas multilaminarmente, en el proceso de formación es estirada biaxialmente en una proporción de 5: 1 y llegando hasta un 8:1 en forma horizontal dirigiéndose en dirección de la máquina y conformada en un grado de 6:1 hasta llegar a 15:1 en forma transversal. El número de código al cual pertenece es el 2 (Grupo Solquim, 2008)

1.11.2 Polietileno de baja densidad (LDPE)

Este tipo de polietileno es un tipo de polímero termoretractil obtenido a partir del etileno, comercialmente es conocido por su buena flexibilidad, resistencia y capacidad a deformarse sin que se pueda romper. LDPE sus siglas derivan del inglés (low density polyethylene) otra característica importante es que tiene una gran cantidad de ramificaciones de átomos de carbón, esto hace que las moléculas sean más flexibles y las fuerzas de tracción sean menores a comparación de los de alta densidad; esta características le permite trabajar con otros elementos con una importante flexibilidad, a simple vista son transparentes son más elásticos pero de buena resistencias ala rupturas sus puntos de termo retracción requieren de menores temperaturas entre un 10 – 20 %. Este material es reciclable cuyo código de número es el 4. (Córdova, 2004)

Aplicaciones del LDPE

El polietileno a baja densidad viene utilizado sobre todo por la producción de película de acoplar a otros materiales como las etiquetas: más del 63% de la producción mundial de LDPE tiene esta destinación de uso. Este material es utilizado para productos alimentarios, productos de tecnologías, recipientes y envases, entre otras aplicaciones.

Entre los usos que más se le da al LDPE:

- Películas plásticas y bolsas, para supermercados, bolsas para desechos, elementos quirúrgicos, envoltura de alimentos como frutas y carnes, como otras aplicaciones del uso común.
- Sirven también como recubrimiento a otros elementos como puede ser vasos de cartón prensado o papel prensado y para los envases de bebidas las más conocidas el tetrapack.

- Como envases flexibles usados en productos alimenticios como paquetes de pan y productos congelados, también para no alimenticios como productos medicinales.
- Uso en botellas y recipientes, aunque se usan en menor cantidad que el PEAD, son usados en botellas exprimibles y algunos contenedores de alimentos que requieren usar el sistema de vacío.
- Uso en tubos o cañerías, se aplican en elementos donde se necesite cañerías flexibles.
- Como parte de componentes sensibles y que requieren recubrimiento adicional de plásticos usados en componentes de hardware de Computadoras.
- También se usa como revestimiento de algunos materiales, como recubriendo de pisos, y muretes.

1.11.3 Polietileno de PVC.

El policloruro de vinilo (PVC) es un polímero termo retráctil ampliamente utilizado debido a su versatilidad, su buena duración y resistencia es uno de los plásticos más usados en la industria, en diferentes campos como la farmacéutica, para productos cosméticos, para juguetes, también los encontramos para los electrodomésticos, en la construcción en plásticos, vidrios, metal, es importante en la industria eléctrica como aislante, entre otros usos; número de reciclaje es número 3. (Córdova, 2004)

Las películas de PVC tienen características importantes porque están formados por aditivos que mejoran su rigidez, su fácil moldeabilidad y gran desempeño para soportar impactos, por otra parte tenemos que ver sus desventajas principalmente al desgaste con tiempo se vuelve amarillento y tiende a quebrarse, no puede soportar temperaturas bajas, tiende a fisurarse en fragmentos su temperatura de almacenaje es en promedio unos 25°C. (Braskem, 2016)

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Los embalajes termoencogibles han ido mejorando tanto en uso unitarios como para unificar botellas antiguamente se usaba en acetato de celulosa, actualmente es de uso para ciertos tipo de embalajes luego pasaron al uso de cloruro de polivinilo (pvc) estos tienen rangos de contracción para embalajes de mayor peso y volumen, de allí se desarrolló el uso de poliefinas que son polietilenos de alta y baja densidad las cuales son de mayor resistencia a la tracción cuando están ya cargados además las películas tienen menor espesor y tiene además una retracción más uniforme y tienen mejor acabado. Los embalajes termoencogibles tienen grandes beneficios como son: Tiene una gran utilidad para empaquetado de unificación de botellas, un óptimo nivel de deformación y estiramiento, gran resistencia al momento de transporte además tiene una muy buena durabilidad.

2.2 Base teórica de la termocontracción

2.2.1 Proceso de embalaje térmico

El proceso de embalaje térmico o termocontracción, este proceso consiste en agrupar una cantidad de objetos de tal manera que pueda contener un peso el cual sea posible ser levantado por una persona con toda facilidad, de esta forma sea transportado de un lugar a otro, se puede embalar todo tipo de elementos como pueden ser alimentos, bebidas, productos, etc.

Generalmente para poder transportar un producto se utiliza cubiertas metálicas o de madera, cajas plásticas o de cartón prensado, este tipo de protección es necesario para que se pueda

transportar soportando golpes bruscos, además pueda ser fácilmente empilados para su almacenamiento, volver a ser transportados hasta poder llegar a los consumidores finales. Para nuestro estudio propondremos el uso de lámina o file termoencogible por sus características de resistencia, moldeabilidad, fácil manejo, transparencia, de bastante uso en el mercado.

Dentro del mercado existen distintos tipos de embalaje como son las fundas autoadheribles, etiquetas de forma cilíndrica, las mangas, los files termoencogibles de las cuales 2 de estos procesos que son los más usados a nivel comercial en nuestro medio.

Los embalado con funda termoencogible se utiliza en su mayoría para alimentos porque la fundas tiene un mayor espesor y tiene un cierre rápido puede ser de forma automática usando llenadores de carga o también de forma manual, y se amoldan de acuerdo al tamaño del contenido.

El embalado de file termoencogible, este tipo de proceso se embala previamente pueden tener mayor volumen que las fundas y tienen una mayor termocontracción en todos sus dimensiones son perfectas para los empaques de forma paralelepípedos.

2.2.2 Definición de la Termocontracción.

La definición del fenómeno físico de la termocontracción o termoretracción se fundamenta en el uso de un material termoplástico cuya característica principal es de retraerse al incrementar la temperatura hasta llegar a un punto donde esta comienza a deformarse y toma la forma de la pieza la cual envuelve finalmente al descender la temperatura la envoltura quedara sellada en toda su dimensión. (Paz, 2012)

La termocontracción se produce como consecuencia de la interacción térmica de las moléculas del file, en el instante que tienen a retraerse las tensiones residuales al

incrementar la temperatura, hasta un punto donde se produce la máxima deformación para luego volver a un estado de reposo este se contrae y se ajusta firmemente para luego envolver completamente el objeto y tomando la forma de este; en este proceso las fuerzas tensionales se mueven de manera longitudinal y transversal, lo que significa una contracción en todas sus direcciones. Para darle un determinado uso es necesario tener en cuenta un espesor determinado y el tipo de material como la poliolefina, policloruro de vinilo, polietileno y tereftalato de polietileno, estos son los materiales más usados en la termoretracción; este fenómeno se desarrolla en las siguientes etapas:

Ablandamiento del film: Es la primera etapa, se presenta durante el incremento de la temperatura las moléculas de la película empiezan a ceder al incremento de temperatura de forma longitudinal como transversalmente.

Contracción del film: En esta segunda etapa; las moléculas tienden a tener su máxima adhesión entre ellas, lo cual significa que la contracción se hace máxima al llegar a las temperaturas óptimas para el proceso.

Estabilización: la tercera etapa del proceso En esta etapa el material deja de contraer, aun cuando permanezca a la temperatura de contracción o superior a ella, en esta etapa las tensiones se nivelan.

Enfriamiento: la cuarta etapa, en esta etapa el material alcanza su mayor fuerza de contracción y completa su retracción esta hasta llegar a la temperatura ambiente no necesariamente por la variación dimensional de contracción sino por el aumento en la fuerza de contracción del film.

2.3 Metodología en el proceso de diseño en ingeniería

Para poder desarrollar un diseño es importante tener una experiencia propia para concebir un proyecto de esta forma poder hacer el uso de un método que permita tener una amplitud y plena conciencia para la solución de problemas que se presentaran al momento del desarrollo.

En la actualidad la innovación es la palabra clave para mejorar un producto, se puede innovar parcialmente o en forma total un producto, también se puede innovar en el proceso de construcción a nivel de los materiales, maquinas herramientas, tecnología (apoyo de software especializados), ayuda de sistemas integrado de gestión, conocimientos avanzados del diseñador, todo esto conlleva a un acorte en los tiempos de producción; entre otros factores que ayudan al proceso de construcción y diseño. Todos estos factores conducen a dar soluciones propias, a través de medios y formas en la producción local dando paso a la fundación de tecnología nacional.

2.4 Metodologías de diseño en Ingeniería Mecánica

En las metodologías de diseño no son rutinarias porque existen una diversidad de resoluciones para proponer y dar una solución a un problema, el diseño en la industria puede ser simple o complejo, puede ser fácil o complejo, puede contemplar soluciones matemáticas, como también soluciones prácticas, en la mecánica se han planteado diferentes metodologías las cuales podemos citar.

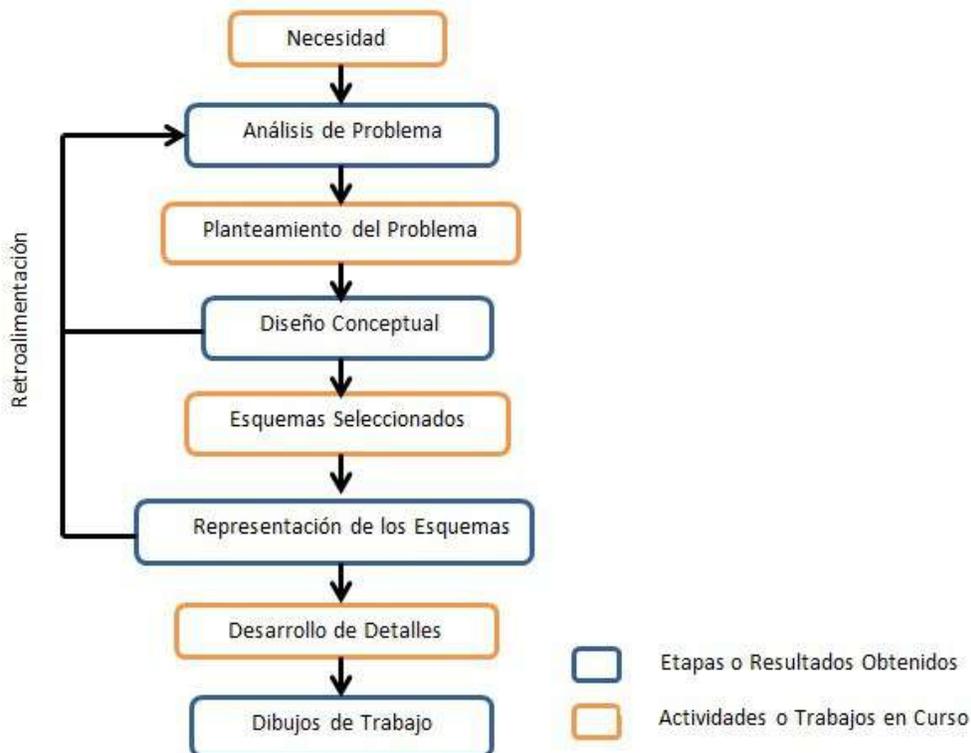
2.4.1 Modelo de fases de Michael French

Es el más antiguo surgió a partir de 1970, modelo de fases que se centra en un enfoque sistemático y racional para el diseño de ingeniería, en el contexto de diseño mecánico este modelo trabajo en función a actividades o trabajos a realizar deben ser acompañadas con

resultados, se plantea el problema y se identifica los conceptos de solución, se profundiza en el diseño de detalles, a partir de los esquemas existe una retroalimentación hacia las etapas anteriores. (Bonsiepe, 1978)Pág. 24.

El modelo de French solo llega a la etapa de dibujo, como un esquema el cual se puede utilizar.

Figura 2.1
Modelo De Fases de Michael French, 1985



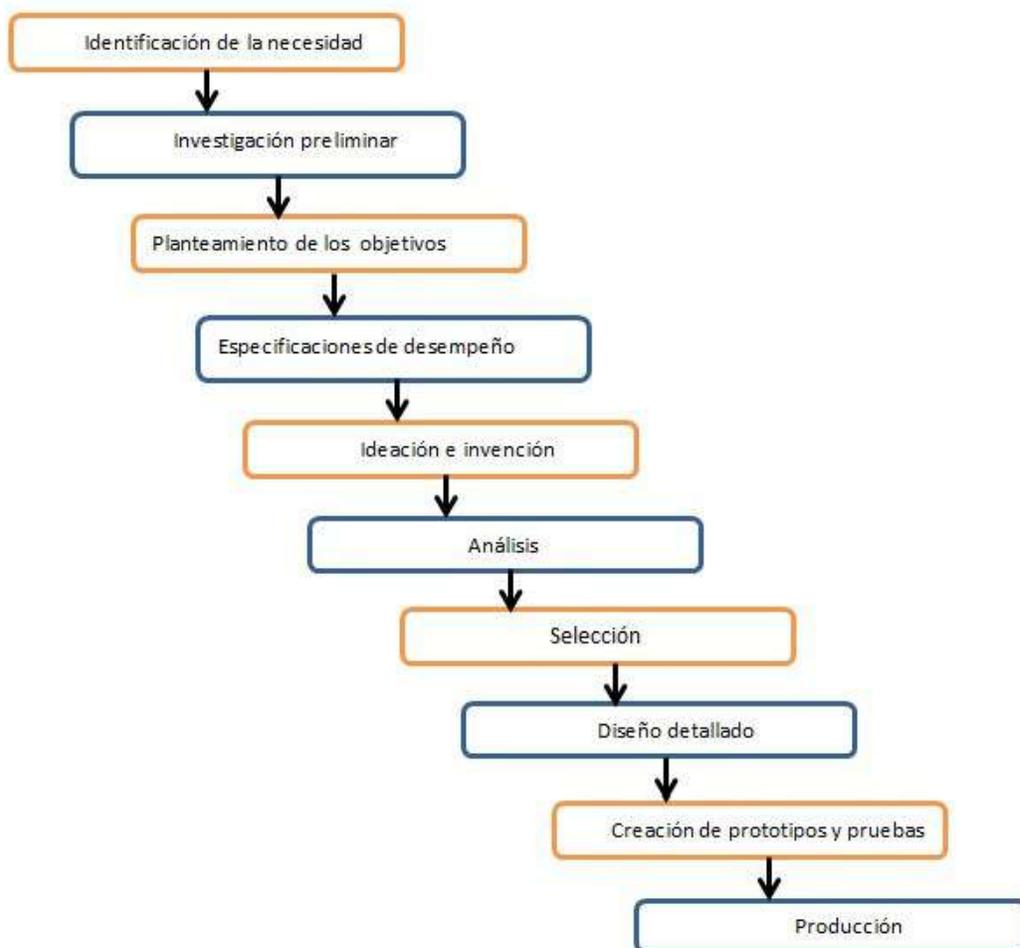
Fuente: *Diseño industrial, Tecnología y Dependencia*

2.4.2 Modelo de Robert Norton

Se utilizó a partir de 1980, este plantea mejoras en comparación de modelo de French contiene diez pasos, parte de identificar la necesidad luego sugiere una investigación preliminar del problema como se originó, si existe en el mercado, si ya se hizo o existe, que se tiene que proponer, a partir de esto se genera un objetivo, luego pasa a una etapa de especificaciones de

desempeño es decir que se puede y que no se puede; luego se pasa al etapa de ideación e invención; esta metodología se enriquece si el equipo de trabajo es multidisciplinario, luego se analiza todas las ideas y por último se selecciona la mejor idea que soluciona el problema base. Luego se realiza el diseño detallado y se puede generar prototipos y luego se realizan las pruebas. En esta metodología involucra la solución planteada. (Norton, 2009)

Figura 2.2
Modelo de Robert Norton



Fuente: *Manual de Diseño Industrial*

2.4.3 Modelo Pahl y Beitz

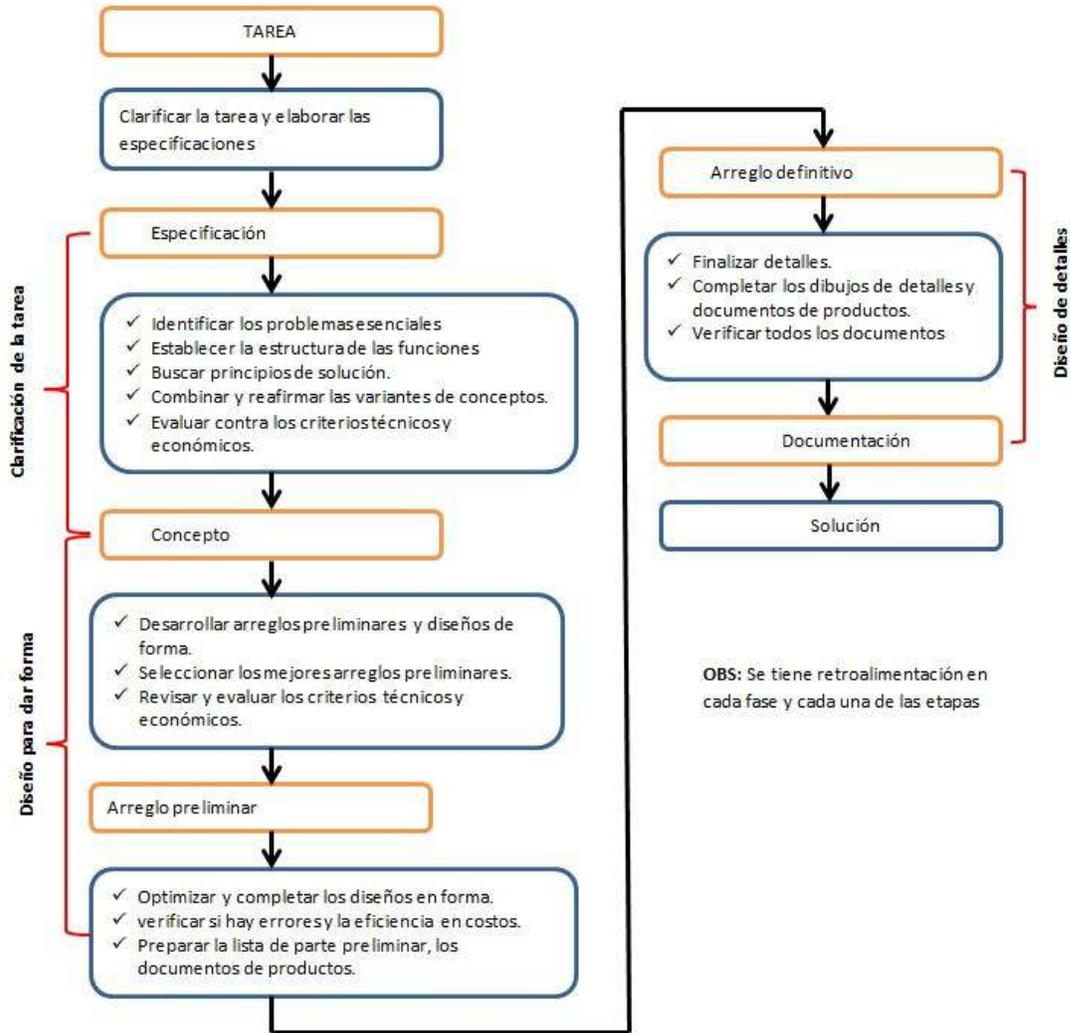
La metodología de Pahl y Beitz es una variación de Norton, se utilizó a partir de 1990, en esta metodología adiciona la evaluación de criterios técnico y económico es decir si la tecnología que ya existe i lo que se quiere desarrollar para el problema; es posible y se tiene el sustento económico para poderlo llevar a cabo. Este modelo pasa por tres etapas. (Cross, Elliot, & Roy, 1982)

Clarificación de la tarea, identifica el problema a solucionar.

Diseño para dar la forma, realiza arreglos preliminares, optimiza y complementa el diseño.

Diseño de detalles nos arroja la solución, existe una retroalimentación en cada una de las etapas

Figura 2.3
Modelo Pahl y Beitz

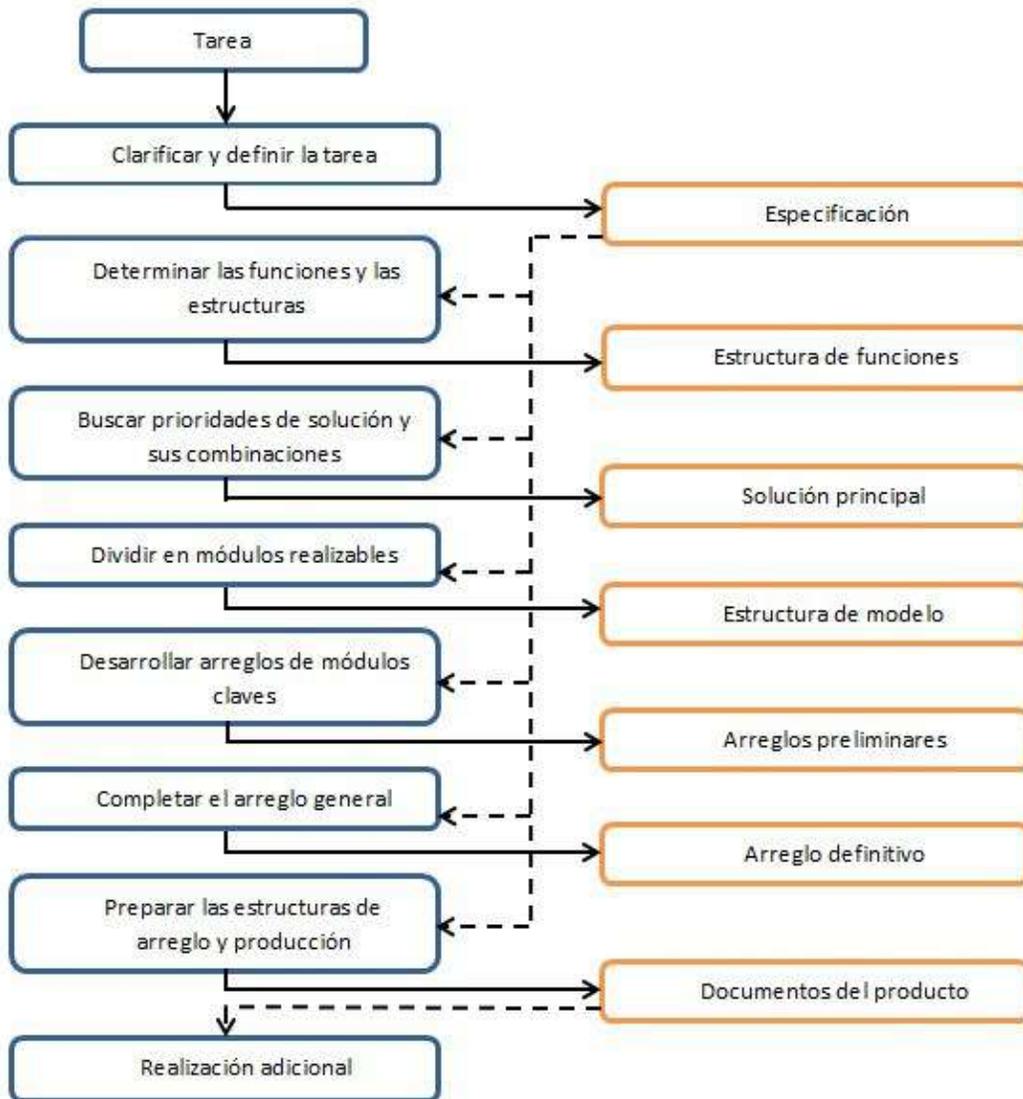


Fuente: *Manual de Diseño Industrial*

2.4.4 Modelo VDI 2221

Este modelo es de enfoque sistemático para el diseño de sistemas técnicos y productos VDI (Asociación Alemana de Ingenieros) surge a finales de los 90 e inicios del 2000; en esta metodología la etapa de especificación retroalimenta a cada etapa en el proceso al finalizar tenemos los documentos del producto y aun en esta documentación se puede seguir alimentando para tener un resultado prolijo, en esta metodología se plantea una retroalimentación constante a lo largo de todo su desarrollo. (Barriga Gamarra, 2006)

Figura 2.4
Modelo VDI 2221



Fuente: *Manual de Diseño Industrial*

2.4.5 Modelo de Design Thinking

La metodología Design Thinking (pensamiento de diseño) empezó su desarrollo en la universidad de Standford este modelo está centrada en el usuario que se puede adaptar al diseño mecánico para fomentar la innovación y resolver problemas complejos de manera creativa. Este

se creó en el ámbito del diseño de productos y servicios, sus principios se pueden aplicar eficazmente en el diseño. (Muñoz & Villegas Ramos, 2013)

Figura 2.5
Modelo de Design Thinking



Fuente: Metodología Design Thinking Para La Innovación

2.5 Teoría de transferencia de calor

La transferencia de calor es un fenómeno físico la cual transmite la energía calórica de un medio a otro, esto sucede cuando dos sistemas se encuentran a distintas temperaturas y al ponerse en contacto ya sea directa o indirectamente la parte donde existe mayor calor se dirige al de menor calor esto sucede hasta alcanzar el equilibrio térmico. "Transferencia de calor es la energía que

se encuentra en tránsito esto porque existe una diferencia de temperaturas en un medio” (Incropera & De Witt, 1999) Pág. 2

Este proceso puede ralentizarse empleando barreras aislante que logren contener el calor durante un tiempo el cual permitan su uso. Aun poniendo estos sistemas de aislantes la transferencia se realizara con el tiempo a través de medios disponibles o en el estado que se encuentre.

2.5.1 Entrega de calor por conducción

La entrega de calor por conducción se asocia a los conceptos de actividad atómica y molecular, a esta particularidad se le considera como una actividad de transferencia de partículas de más energéticas a menos energéticas durante un periodo de interacción entre las mismas. Se puede atribuir la transferencia de energía a ondas reticulares las cuales son inducidas por la excitación atómica esto pasa generalmente en los no conductores mientras que en los conductores también se debe al movimiento de electrones libres. La conducción es más notoria en los elementos sólidos se le conoce también como difusión de energía. (Incropera & De Witt, 1999) Pag.3

Para cuantificar el proceso de conducción se puede usar ecuaciones apropiadas estos sirven para calcular la energía que transfiere en unidad de tiempo para la conducción a este modelo se le conoce como la ley de Fourier.

$$q_k = K \frac{(T_1 - T_2)}{L} = K \frac{\Delta T}{L} \quad (2.1)$$

Dónde:

K : Conductividad térmica $W/m * K$

L : Distancia que recorre la transferencia de calor

ΔT : Variación de temperatura.

2.5.2 Entrega de calor por convección

La entrega de calor por conducción se compone por dos medios por energía mediante movimiento molecular aleatorio (difusión) y también por medio del movimiento global macroscópico del fluido. El movimiento del fluido se asocia con una variación de temperatura, esta transferencia se realiza por un fluido en movimiento y una superficie limitante cuando estos tienen una diferencia de temperaturas. (Incropera & De Witt, 1999) Pag.5

A este tipo de transferencia se le conoce como “la ley de enfriamiento de Newton” Para cualquier proceso de transferencia la ecuación o modelo se puede representar de la siguiente manera:

$$q_1 = h(T_s - T_\alpha) \quad (2.2)$$

Dónde:

q_1 : Flujo de calor por convección (W/m^2)

T_s y T_α : Diferencia de temperaturas de la superficie y el fluido

h : Coeficiente de transferencia de calor por convección ($W/m^2 * K$)

La conductividad térmica k (en $W/m^\circ K$) del material representa la capacidad con la cual la sustancia conduce calor y produce la consiguiente variación de temperaturas.

2.5.3 Entrega de calor por radiación

La entrega de calor por radiación es la energía emitida por el material que se encuentra a una mayor temperatura o condición de temperatura finita; pondremos más énfasis en la radiación de elementos sólidos. Cual sea la forma del elemento la radiación se debe a los cambios que se producen en la configuración electrónica de átomos y moléculas que se encuentran de forma

consecutiva, están se transportan mediante ondas electromagnéticas sin necesidad que exista un medio material. En este proceso la radiación será originado por la energía térmica del material en la superficie a esto lo denominaremos potencia emisiva superficial a esta se le conoce como la ley de Stefan Boltzmann. (Incropera & De Witt, 1999) pág. 9

$$E_b = \sigma * T^4 \quad (2.3)$$

Dónde:

E_b : Potencia Emisiva Superficial W/m^2

σ : Constante de Stefan Boltzmann $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 * K^4$

T: Temperatura Absoluta °K

2.6 Teoría de diseño de máquinas

El diseño de máquinas se refiere a un conjunto de principios, conceptos y metodologías que nos permite tener una guía para el desarrollo de una máquina; teóricamente necesitamos de los conceptos de la cinemática, estática, dinámica, mecánica de materiales, resistencia de materiales, entre otras ramas de la ingeniería como son la eléctrica, electromecánica, programación, automatización, etc.

Para tener un buen diseño tenemos que tomar en cuenta los siguientes: funcionalidad y propósito, seguridad, facilidad de fabricación, el rendimiento, durabilidad, economía.

Funcionalidad y propósito: Cuál es el propósito esencial de sus funcionamiento, cada componente tiene una función en especial.

Simplicidad: Es importante una simplicidad en el diseño, evitando una complejidad innecesaria que puede traer sobre costos, pero también es indispensable no escatimar elementos complejos que ayuden en su mejor funcionamiento.

Eficiencia: Se diseña para mejorar y maximizar la eficiencia en el proceso de fabricación y mejora en el producto.

Seguridad: La seguridad en todos los procesos es muy importante tanto en la construcción como en el funcionamiento, esto se asocia como el diseño de un producto que es seguro de usar dando confiabilidad a los consumidores.

Ergonomía: Una máquina debe de ser cómoda y práctico de usar, debemos de considerar la interacción del usuario y el producto.

Materiales adecuados: Debemos seleccionar los materiales más apropiados, para que pueda ser un producto de calidad además duradero

Factor de carga: Es importante diseñar con un margen de seguridad adecuado el cual pueda soportar cargas y tensiones máximas previstas en los cálculos estos van actuar durante toda la vida útil de la máquina.

Manufacturabilidad: Se debe de diseñar teniendo en cuenta la fabricación y modo de fabricación, considerando los procesos productivos, tolerancias, ensamblaje, tenemos que tener en cuenta el equilibrio entre costo y beneficio.

Mantenimiento y reparación: Planificar el mantenimiento según la vida útil de la máquina, debe tener facilidad de acceso de componentes de uso, es importante diseñar para tener una fácil reparación.

Estética: Resulta importante la apariencia visual del producto, puesto que un buen diseño estético puede influir en la percepción y aceptación del producto por parte de los usuarios.

Sostenibilidad: Es importante evaluar el impacto ambiental del diseño a lo largo de su ciclo de vida, debemos de buscar reducir los residuos, reutilizar o quizá hasta volver a utilizar los materiales reciclados por tal razón es importante crear productos duraderos.

Optimización: Es importante el uso herramientas de análisis y simulación así como un buen cálculo matemático de cada componente y de toda la máquina de esta forma es posible optimizar la máquina antes de su producción.

2.7 Descripción de transferencia de calor

La transferencia de calor es el proceso por el cual la energía térmica se transfiere entre diferentes cuerpos por una diferencia de temperatura, dentro de nuestro campo de estudio analizaremos el proceso convección, ya que estudiaremos la transferencia mediante un fluido, en nuestro caso aire a través de flujos de convección, esta sucede dentro de un túnel térmico cuya función es elevar el calor hasta llegar a una temperatura la cual le permite al file pueda termoencogerse, este material tiene la capacidad de retraerse y quedarse en la forma y volumen al cual contiene después de retornar a la temperatura ambiente.

2.8 Características y requerimientos para el diseño

Para desarrollar el diseño del túnel se requieren ciertas características, como son las dimensiones de la máquina, una estructura duradera y rígida que soporte el trabajo continuo, también algunos requerimientos principales como dimensión de los paquetes, flujo de producción, la velocidad de la faja para cumplir con el flujo de trabajo, el tiempo que se requiere para el proceso de la termocontracción, considerar las propiedades del material son importantes porque serán el punto

de inicio de nuestros cálculos; para el embalado de paquetes debemos de conocer el tipo de file, sus espesores, las temperaturas de retracción, etc.

2.8.1 Carga y dimensión de los paquetes

Para dimensionar los paquetes es importante saber las dimensiones de los envases, para nuestro caso usaremos botellas con capacidad de 2 litros, la configuración que produce la planta; es de 6 unidades por cada paquete (3x2); las botellas tiene un diámetro de 100mm (0.1m) y 350mm (0.35m) de alto, por lo cual las dimensiones de cada paquete serán de 300x200x350 mm (A-L-H) ancho, largo y alto.

Figura 2.6
Dimensiones de paquete



2.8.2 Dimensionamiento de las longitudes principales de la máquina

Para poder realizar el dimensionamiento de la maquina tenemos que tomar en cuenta varios factores como son espacio dentro de la planta, ergonomía, espaciamento para un mantenimiento, necesitamos una máquina que sea compacta.

2.8.3 Flujo de producción de paquetes en la planta

Cuando se realiza un trabajo manual en el embalado con película termoretráctil, un operario demora entre 25 y 40 segundos cada paquete en promedio 1.5 paquetes / minuto, por ello es necesario hacer más eficiente este trabajo, para lo cual se propone realizar un flujo de 20 paquetes/minuto las cuales suman en promedio 120 botellas/ minuto. Este dato se aproxima a la producción requerida de la planta, en el área de llenado y envasado de botellas; se tiene una producción promedio de 100 botellas por minuto.

Tomaremos como base esta producción para efectos de cálculo y diseño.

2.8.4 Rapidez de la cadena transportadora

Es importante la velocidad que tiene la cadena de transportación, porque este tiene que entregar una velocidad equivalente a la velocidad de flujo de producción de la planta, también podemos tomar valores de velocidades que van desde 2 hasta los 15 (m/min) esto nos permitirá evaluar la velocidad más conveniente.

$$2m/min \leq Velocidad_{Flujo} \leq 15 m/min$$

2.8.5 Temperatura requerida dentro del túnel

Según las fichas técnicas de los files (plásticos termoencogibles) el espesor y sus dimensiones requieren una temperatura de trabajo, estas temperaturas varían y pueden ubicarse entre las temperaturas mínimas de deformación son de 160°C y temperaturas máximas serán de hasta 220°C, esta pueden ser mayores para otros files como el PVC, polietilenos de baja densidad que requieren hasta los 250°C, otro factor importante que debemos de considerar es el tiempo que se encuentran expuestos a estas temperaturas; estos intervalos de tiempo varían entre los 15 hasta los 30 segundos para completar la retracción según las recomendaciones del fabricante, por tal

razón la faja transportadora jugara un rol importante para poder tener un manejo óptimo en el flujo de calor que se inyecta a los paquetes embalados con file termoencogible.

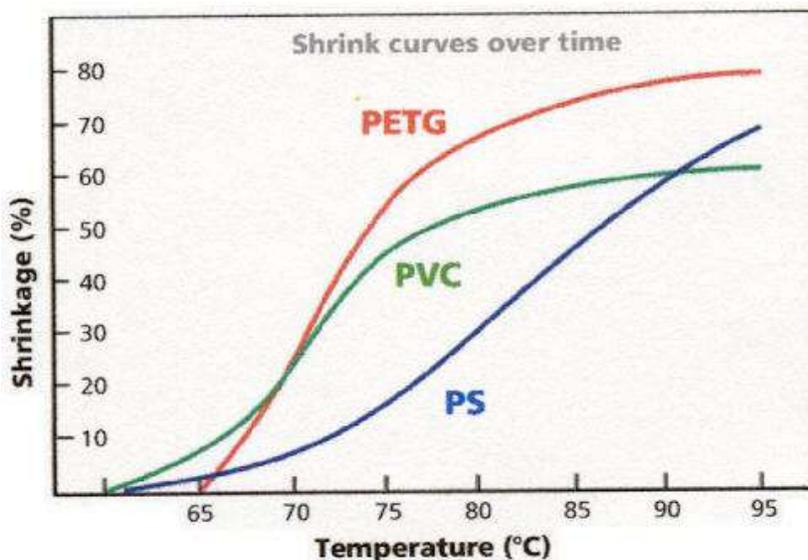
Nosotros proponemos trabajar a una velocidad de 10 m/min este se encuentra en el rango de trabajo en la planta tomando como referencia la velocidad de producción.

2.8.6 Características de material película termoencogible

Temperatura de contracción según la película termoretractil trabaja entre los 180 y 250°C según el espesor y propiedades del mismo para cálculos usaremos 200°C de temperatura de termo contracción.

Tiempo de contracción dura entre 5 y 25 segundos esto puede variar según el espesor, el tipo de película termoencogible además tenemos que tener en cuenta la velocidad a la que se transporta dentro del túnel. (Paz, 2012)

Figura 2.7
Diagrama de porcentaje de contracción vs temperatura de diferentes termoplásticos



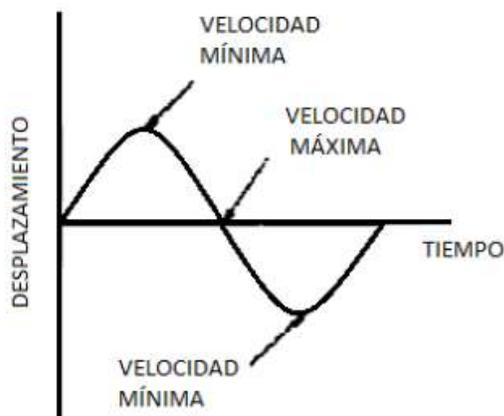
Fuente: PLAEN fabricante de productos termoplásticos, en la figura se muestra el proceso de termocontracción para algunas etiquetas retráctiles mas comerciales.

2.9 Concepto de vibración

Según Singiresu el fenómeno de vibración sucede cuando un cuerpo vibra al describir un movimiento oscilatorio alrededor de un punto de referencia. Por lo tanto la posición oscilatoria o vibratoria es la diferencia de configuración respecto del tiempo. También se puede expresar como un intercambio de energía cinética en cuerpos con rigidez y masa finitas, el cual aparece de una fuente de energía dependiente del tiempo. (Singiresu S, 2012) Pág. 13

Una propiedad interesante del estudio de la frecuencia es la relación que existe entre frecuencia y velocidad angular (rpm) de máquinas rotativas, aquí es donde se presenta por lo general las vibraciones debido a la cambio de dirección y amplitud de fuerzas que generan la velocidad de giro. Estos son detectados por las frecuencias iguales a la velocidad de giro o múltiplos a ellos. La amplitud de vibración se puede medir la amplitud de desplazamiento de velocidad como de aceleración.

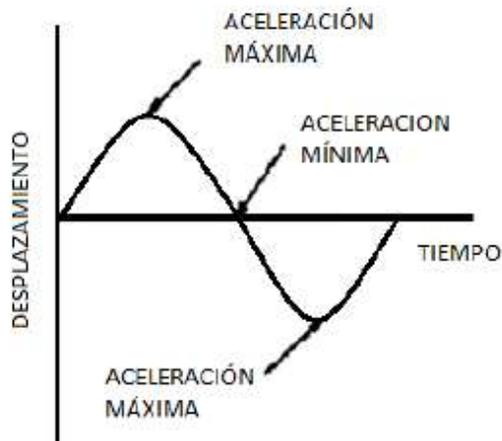
Figura 2.8
Velocidad en Función del Desplazamiento de un MAS



Fuente: Estudio de la vibración en baja frecuencia de motores eléctricos

La velocidad está relacionado directamente con la rigurosidad con que sucede la vibración, en tal sentido es un parámetro que se puede medir, en cambio la aceleración está relacionada con las fuerzas que provocan las vibraciones.

Figura 2.9
Aceleración en Función de desplazamiento de un MAS



Fuente: Estudio de la vibración en baja frecuencia de motores eléctricos

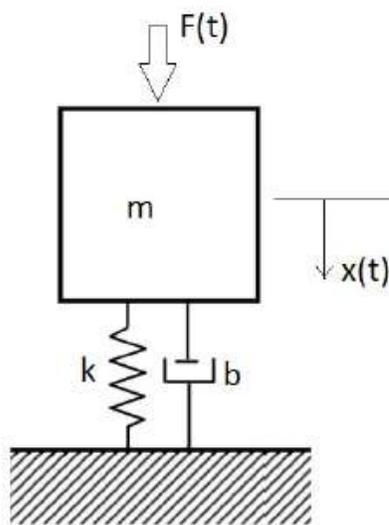
El Movimiento de vibración es la variación de la configuración de un sistema, respecto del tiempo, en torno del posicionamiento de equilibrio estable; el cual se repite periódicamente en intervalos iguales de tiempo el cual llamaremos periodo y su inversa lo nombraremos como frecuencia. (Macedo Silva, 2010)Pág. 20

El intercambio o variación de energía puede ser originado por:

- Un desequilibrio en las maquinas rotativas
- Movimiento de masa de fluidos
- Energía electromagnética
- Mecanismos con movimientos de golpeteo.

Una característica propia de la vibración es que se mantiene periódica, siendo uno frecuente el movimiento armónico simple (MAS), “el número de veces que se lleva a cabo un ciclo de movimiento completo en un periodo de un segundo se le llama frecuencia y la podemos medir en Hercios (Hz) este movimiento puede comprender de un solo componente y ocurre a una sola frecuencia MAS, pero en la práctica pueden existir múltiples frecuencias. (Singiresu S, 2012)Pág. 16

Figura 2.10
Sistema de movimiento vibratorio masa-muelle



Fuente: Libro vibraciones Mecánicas capítulo fundamentos de vibración.

Dónde:

m: masa o inercia; concentrada en el bloque rígido.

k: resorte elemento elástico; no tiene masa

b: disipador de energía; por lo general un amortiguador

F(t): fuente de excitación, puede ser una fuerza, momento o movimiento conocido

x(t): desplazamiento de masa en función al tiempo.

2.9.1 Tipos de vibración

Las vibraciones se clasifican en vibraciones libres y vibraciones forzadas.

La vibración libre: Se produce cuando un sistema tiene una oscilación que actúa sobre la acción de fuerzas inherentes a sí mismo y a la vez las fuerzas externas que se aplican a este son inexistentes, este vibrara bajo sus frecuencia naturales o modos de vibrar las cuales son propiedades dinámicas que dependen de la distribución de masa y rigidez.

Vibración forzada: Esto sucede cuando hay la aparición de excitaciones aplicadas directamente al sistema en un tiempo determinado, incluyendo las fuerzas y momentos internos. Cuando la vibración es oscilatoria el sistema es obligado a vibrar según la frecuencia de excitación. Y si esta coincide con la frte3cuencia natural del sistema esta puede producir la resonancia esto genera oscilaciones peligrosas.

De esta vibraciones podemos sub dividir, estos a su vez dependen de la existencia o no de fuerzas resistentes que amortiguan el movimiento vibratorio.

- Fuentes de vibración con amortiguamiento y sin amortiguamiento.
- Sistemas de vibración lineal y no lineal.

2.9.2 Aislamiento de vibraciones

Es de suma importancia aislar la vibraciones que se generan en las maquinas, esto para evitar que la energía vibratoria se transmita a las zonas próximas originando niveles de ruido, agrietamiento en las superficies generando efectos destructivos, posibles interferencias con otros procesos cercanos, deterioro de las misma maquina o sistema, etc.

El aislamiento es un método de reducción de transmisión de fuerzas o movimientos vibratorios de una estructura a otra. “Aquí el término aislamiento se refiere a la interposición de un elemento de un elemento relativamente flexible entre las dos estructuras”. (Crocker, 2007)

Es importante la reducción de vibración por diversas razones.

- Una excesiva vibración puede dificultar la velocidad de los procesos de producción.
- La vibración en maquinarias produce ruidos.
- En las máquinas, puede derivar en una baja calidad de productos.
- La vibración puede causar fallas en la instrumentación de los componentes de la máquina o quizá también alcanzar incluso otras máquinas cercanas.

Existen dos tipos de aplicaciones en el aislamiento de vibraciones, el primero es aquel que impide la transmisión de fuerzas de la máquina a su base; el segundo tipo reduce el índice de transmisión del movimiento vibratorio a la base u otra máquina. El control de vibraciones podemos controlarlo de las siguientes maneras. (Perez Pozo & Bermejo Campos, 2013)

Según Pérez y Bermejo, se puede catalogar el control de vibraciones en tres grupos.

- a) **Reducción de fuente:** Se aplicará en el balanceamiento de masa que están en movimiento (ventiladores, inyectores, motoredutores, motores de combustión interna, etc.), el balanceo de la fuerza electromagnética (en los motores eléctricos) es importante la reducción de juego en el balanceado de ejes.
- b) **Aislamiento:** Se puede aislar una máquina que genera una importante cantidad de vibración esto para evitar que pueda operar y afectar las máquinas contiguas, podemos aislar una máquina sensible a las vibraciones en un ambiente pleno de vibraciones. Ejemplo los equipos de medición.

c) **Reducción de la respuesta:** Podemos minimizar las vibraciones alterando las frecuencias naturales, incrementando el amortiguamiento, añadiendo absorsores dinámicos; para poder analizarlos es necesario conocer las propiedades nodales del sistema, a esto se le conoce como como análisis nodal experimental. Cuando se identifica las frecuencia naturales y los modos propios de maquina esta información será para diagnostico situacional de vibraciones excesivas y poder rediseñar los componentes estructurales, predecir respuestas y mejorar el comportamiento dinámico del sistema.

CAPÍTULO III

3 DISEÑO CONCEPTUAL DE TÚNEL DE TERMOCONTRAIDO

3.1 Metodología de diseño VDI

El Conjunto de directrices VDI (Asociación Alemana de Ingenieros) es una metodología que aporta estructura, calidad y eficiencia a los procesos de ingeniería y desarrollo industrial, tiene un buen desarrollo en su estructura por esta razón optamos para aplicar en el desarrollo de nuestro trabajo de tesis; la metodología VDI 2221 en cuyo título “Metodología de diseño en ingeniería”, es un documento que aborda un diseño de forma sistemática de un producto técnico.

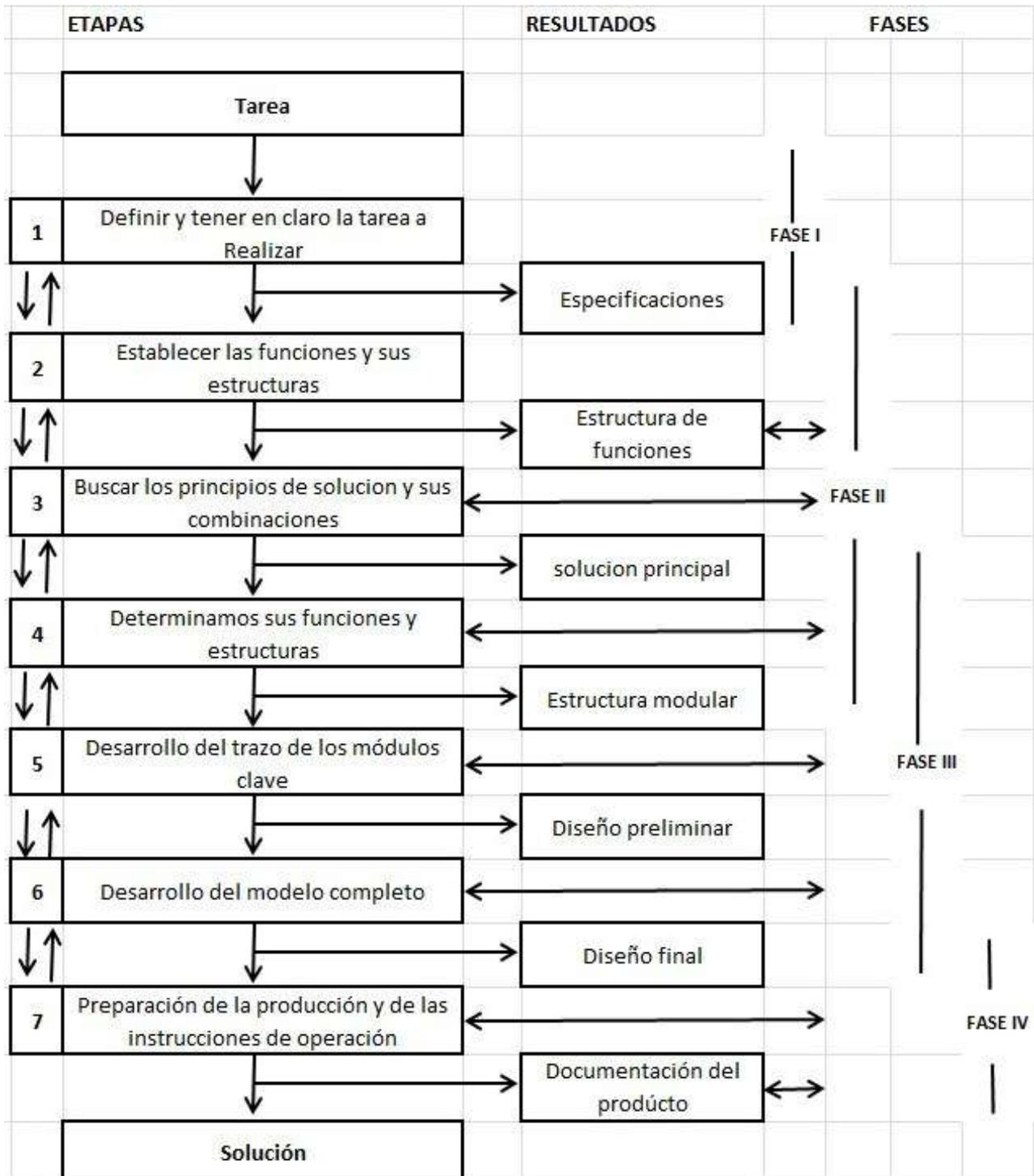
La VDI 2221 (Verein Deutscher Ingenieure) denominada “Enfoque sistemático para el diseño de sistemas técnicos y de productos”, norma desarrollada por los ingenieros profesionales, esta analiza y entiende el problema a profundidad, es especialmente útil para la realización de productos. (Barriga Gamarra, 2006)

3.2 Fases del proceso de diseño

Para el proceso de diseño se observa una gradiente de actividades, la comprensión de requerimiento, la concepción del requerimiento, la elaboración del proyecto y finalmente la elaboración de los detalles.

FASES DE DISEÑO

Figura 3.1
Fases de Diseño



Fuente: Adaptado de Métodos de Investigación VDI 2221-2225, 2006

Según este método tiene un enfoque sistemático y retroalimentado en cada etapa, durante el proceso, esta metodología nos propone siete etapas bien definidas cuya estructura es un requerimiento, el cual debe tener un resultado o conjunto de propuestas que satisfagan cada proceso. Esta metodología consta de 4 fases la cual engloba todo el proceso. (Barriga Gamarra, 2006)

Estructura del proceso de diseño: proporciona de manera general la solicitud deseada, esta propone desde la definición del problema hasta la solución detallada, define el proceso en etapas definidas para poder facilitar la gestión y control del proyecto.

Conceptualización del problema: en esta etapa debemos generar ideas y conceptos que nos ayuden a comprender el problema, además deben cumplir ciertos requisitos establecidos.

Diseño preliminar: en esta fase del problema se debe desarrollar las ideas y conceptos y dar soluciones con mayor detalle y estas puedan ser evaluables con ayuda de cálculos y estimaciones.

Diseño detallado: ya en esta etapa concluye con la elaboración de una solución final, aquí engloba todos los detalles técnicos y de ingeniería que son necesarios y requeridos para el diseño, con una posible fabricación y ensamble del producto.

Entre las ventajas de usar la metodología VDI podemos mencionar algunas.

- El proceso se puede estructurar ofreciendo un procedimiento claro y definir un buen diseño, así mejorar la organización y gestión del proyecto.
- Mejora de calidad de esta forma podemos contribuir a crear un producto de alta calidad, al seguir una línea de pasos metódicos y sistemáticos que contengan todo lo necesario.

- Una reducción de riesgos debemos de identificar y disminuir riesgos potenciales en etapa temprana de diseño, y corregir errores.
- Es una metodología que ayuda a al creatividad, promoviendo una escalada de evaluación a múltiples soluciones, esto nos conduce a soluciones innovadoras y eficientes.
- Esto generara una eficiencia en todo el desarrollo del proyecto de diseño, esto nos permite reducir tiempo y costos que se asocian al desarrollo del producto.
- Buena trazabilidad y transparencia fluida, de esta forma podemos asegurar una documentación detallada además podemos revisar cada uno de los procesos durante todo el proceso.

El método de diseño contiene cuatro fases las cuales son:

Fase I: Detallar el Problema (Comprensión de la solicitud)

Fase II: Elaboración del concepto (Plantear una solución)

Fase III: Proyectar (Elaboración del proyecto)

Fase IV: Elaboración de detalles

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.3.1 Técnicas de recolección de datos.

Datos de inicio para diseño se recibe la descripción de una situación problemática aplicando una ficha técnica con una serie de exigencias (Barriga Gamarra, 2006)

3.3.2 Instrumentos lista de exigencias, recolección de datos

La formulación del proyecto debe ser neutral respecto de la solución del problema para lo cual utilizaremos el siguiente formato con una lista de exigencias.

Tabla 3.1

Lista de Exigencias, Recolección de Datos

PROYECTO: Diseño de un sistema de termocontraído, para optimizar la producción en la línea de empaquetado, dentro de una planta embotelladora de agua		Fecha: 04/06/2023	
Cliente: Planta embotelladora de agua		Dirección: Cusco	
Elaborado por: Paul R. Yucra C.		Revisor por:	
Características	Deseo o Exigencias	Condiciones	Responsable
Función principal	E	Embalar los paquetes con películas termoencogibles	P.Y.
Geometría	E	La geometría de túnel y faja están completamente definidas por lo que el diseño debe adaptarse a las dimensiones requeridas	P.Y.
Cinemática	D	La aceleración y velocidad de faja es constante sin embargo este puede variar según las propiedades de la película a utilizar	P.Y.
Cinética	E	La faja es accionado por un motor eléctrico	P.Y.
Fuerzas	E	La máquina deberá tener estabilidad, rigidez de modo que soporte carga plena además que utilizara materiales que soporten la variación de temperatura el cual eviten deformaciones	P.Y.
Energía	D	La máquina será accionada por energía eléctrica tanto para la faja como para subir temperatura	P.Y.
Señales	E	Los indicadores y controles de la maquina serán de fácil entendimiento para el operador	P.Y.
Ergonomía	E	La disposición de elementos de la maquina serán diseñados de manera que sean manejables y cómodas para el operador	P.Y.
Fabricación	D	Los materiales utilizados en componentes de la maquina deben estar disponibles en el mercado, además las piezas de recambio serán sencillos de conseguir.	P.Y.
Montaje	E	La máquina será de simple montaje, para facilitar su mantenimiento, considerando que también requerirá de una limpieza constante.	P.Y.
Transporte	E	La máquina por ser ligera puede ser transportada fácilmente a cualquier punto de la planta.	P.Y.
Mantenimiento	E	El mantenimiento debe de ser económico de poca frecuencia, y de fácil obtención de piezas de repuesto.	P.Y.
Control y disposición	D	Debe tener espacio suficiente para acceder a todos los componentes de la máquina, además que pueda trasladar la máquina de forma segura	P.Y.
Seguridad	E	La máquina cumplirá con todas las medidas de	P.Y.

		seguridad, además sus instrucciones de uso en caso de eventualidades serán claras y sencillas.	
Medio Ambiente	E	El equipo no deberá desprender ningún tipo de elementos contaminantes, será construido con materiales exigidos para uso quirúrgico, además debe funcionar de manera silenciosa	P.Y.
Operación	E	La máquina será operada y supervisada por una sola persona	P.Y.
Costo	D	La máquina deberá ser fabricada con un costo menos o igual a la del mercado con la ventaja de cumplir con las necesidades particulares de la empresa.	P.Y.

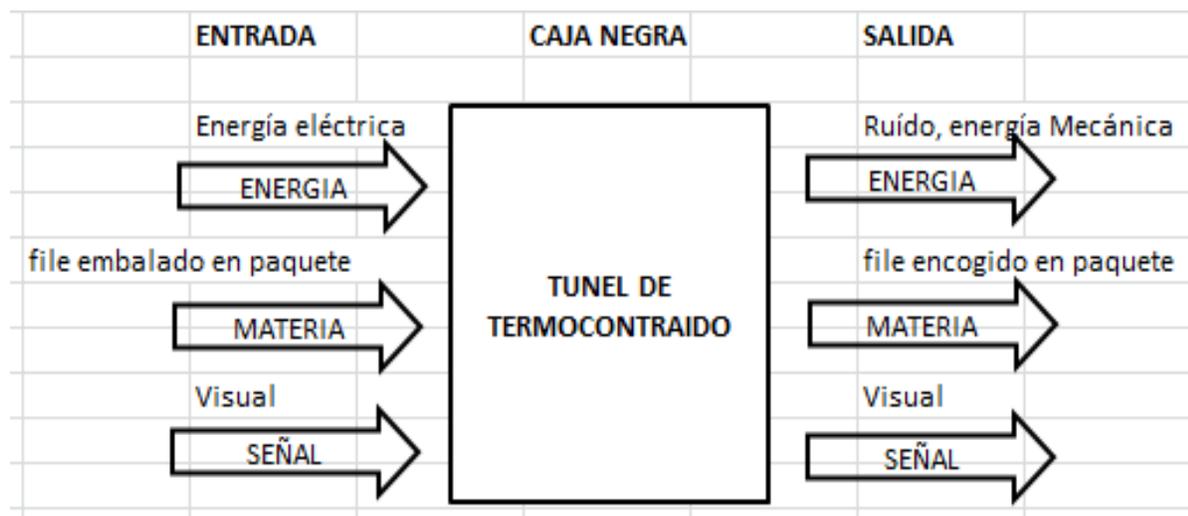
Fuente: Lista de Exigencias Elaboración Propia Adaptación Según VDI 2221

3.4 Determinación de estructura y funciones de diseño

3.4.1 Abstracción: Caja negra (Black - Box).

Dentro de caja negra supone la ocurrencia de proceso técnico, es decir transformación de propiedades de las tres magnitudes básicas como se ve en la figura.

Figura 3.2
Caja Negra (Black-Box)



Fuente: Abstracción del Sistema de Termocontraido Elaboración Propia

A. Entrada:

Energía:

Energía humana para pulsar los botones de encendido arranque de motores y quemadores de faja y túnel.

Energía eléctrica para accionar el motor de la faja.

Energía eléctrica para accionar los quemadores y ventiladores de impulsión de flujo.

Materia:

Paquetes de agua de botellas enrollado con lamina termoencogible.

Señales:

Señal visual indicadores en tablero de control energizados.

Señal visual que la faja y túnel están a punto de encender y no tienen ninguna observación para encendido.

B. Salida:

Energía:

Energía mecánica, ruido de ventiladores calor transferido.

Materia:

Paquetes de agua de botellas PET completamente embaladas con láminas termoencogibles.

Señales:

Visual de que la máquina está en trabajo continuo automático o termino su trabajo.

Visual de que la máquina no registra ningún tipo de anomalía en tablero de control.

3.5 Procesos técnicos (secuencia de operación)

Para transformar magnitudes de entrada (señal, energía y materia) convertirlas en la caja negra se requiere contar con principios tecnológicos. La transformación ocurre paso a paso por una serie de operaciones.

Las operaciones necesarias para las transformaciones y sus secuencias son decididas por la tecnología, combinando fenómenos naturales y fenómenos físicos.

3.5.1 Fijar los procesos técnicos

Para transformar las propiedades de los objetos que ingresan a la caja negra requiere fijar un proceso técnico lo que supone hacer combinaciones de tecnología y secuencia de las operaciones.

Debemos de fijar el proceso técnico conociendo sus fases: preparación, ejecución, control y fase final.

3.5.2 Descripción del proceso

Para la instalación de una máquina, se requiere posicionar en un lugar plano sin ningún tipo de inclinación, esto es necesario para evitar desbalances y que el centro de gravedad se encuentre de acuerdo al diseño de sus respectivos cálculos, esto permite que todos los componentes así como los motores trabajen de forma natural; el túnel de termocontracción está soportado por cuatro puntos fijados al piso mediante anclajes. (Barriga Gamarra, 2006)

Los pasos principales son:

- Generalmente la máquina se transporta por partes, esta se arma totalizando el armado completo de la máquina, el túnel tiene que estar nivelado y contar con anclajes al piso. Además se deberá verificar que todas las piezas estén instaladas de forma correcta.

- Conexión de la energía eléctrica y puesta a tierra.
- Ensamblaje del equipo poner en serie con los otros equipos que le anteceden. Fijando de manera precisa a la maquina el cual pondrá la lámina termoencogible.
- Para desplazamientos es importante trasladarlos con autoelevador sobre tarima de madera y protección de partes sensibles como indicadores y tableros de control, en caso de trasladar de posición en el mismo ambiente se recurrirá a sus propios soportes las cuales cuentan con neumáticos solido solo se tendrá en cuenta que todo el equipo esté debidamente limpio y sujetado.

3.6 Secuencia y principios tecnológicos arranque y puesta a punto.

Instalación de anclajes y juntas de sujeción así como verificación de componentes móviles motores, aspas, faja las cuales deben estar limpias y despejadas antes de ponerla en marcha.

- Energizar la máquina cuidando que todo esté en el margen correcto.
- Si la maquina tuviese un tipo de medidor de nivel, realizar la respectiva verificación, al encender verificar visualmente el correcto funcionamiento de todos los componentes, la temperatura se podrá medir con ayuda de un pirómetro para contrastar con el medidor de temperatura dentro del túnel que debe estar entre los 170 y 180°C.
- Visualización de la cadena transportadora así como los rodillos, que estén en un correcto funcionamiento.
- Regular la velocidad de la cadena transportadora debe mantener una velocidad constante, verificando el potenciómetro instalado en el tablero de control.
- Para desactivar la máquina, la señal del selector debe estar en automático de forma que se corta el fluido caliente, baja la temperatura mientras que la cadena transportadora sigue en funcionamiento, para luego ponerla en stop y la maquina se para completamente.

- Para verificar que funcione adecuadamente es importante revisar que el sistema caliente, observar que el motor funcione con normalidad, cuando llevas el selector a modo de transporte, dejara de funcionar las resistencias por lo cual es seguro verificar por dentro del túnel, por esta razón es importante que la máquina tenga funciones independientes una de transporte y otra de aire caliente.

3.7 Fijación de procesos técnicos

Montaje:

- Instalación de soportes, anclajes tanto al piso como al sistema de producción.
- Ensamble de componentes, según ficha técnica.
- Montaje de equipos para calentar el túnel, quemadores y turbinas de aire.
- Montaje de mecanismo de faja transportadora.

Preparación:

- Pruebas de funcionamiento en vacío.
- Pruebas de funcionamiento con carga normal y carga máxima.
- Revisión de la adecuada lubricación de la máquina.
- Revisión de las turbinas y quemadores y verificar que llegue a la temperatura requerida con ayuda de un pirómetro.
- Revisión del buen estado de los mecanismos del sistema.

Ejecución:

- Encendido de la máquina.
- Verificación de la malla de transporte. Graduación de velocidad de faja.
- Apertura del flujo de masa caliente.

- Graduación de alerones.
- Apagado de la máquina.

Control

- Verificar que la faja tenga un movimiento constante.
- Controlar las turbinas y la resistencia.

Fase final

- Apagado de la máquina.
- Limpieza de la máquina.

3.8 Aplicación de sistemas técnicos y limitaciones

La forma de energía utilizada deberá ser eficiente y constante eso dependerá del lugar donde se instale.

- Los elementos de nuestro túnel de termocontraído serán elementos comercializados localmente, esto nos permitirá una fácil adquisición de los mismos, de no ser así también se podrá fabricar elementos en el área local.
- Es importante evitar, usar elementos con un grado dificultoso de adquirir ya sea por el precio o por la complejidad del elemento.

Para la instalación del túnel deberá tener sistema de anclaje que evite movimientos bruscos, para tener un adecuado montaje además se posicionara sobre una base llana la cual le brinde estabilidad además debe estar alineando junto a la máquina de embalaje con esto debe brindar seguridad a todo el conjunto.

No se podrá trabajar en un lugar donde intervengan elementos peligrosos, inflamables, contaminantes, de baja visibilidad, etc.

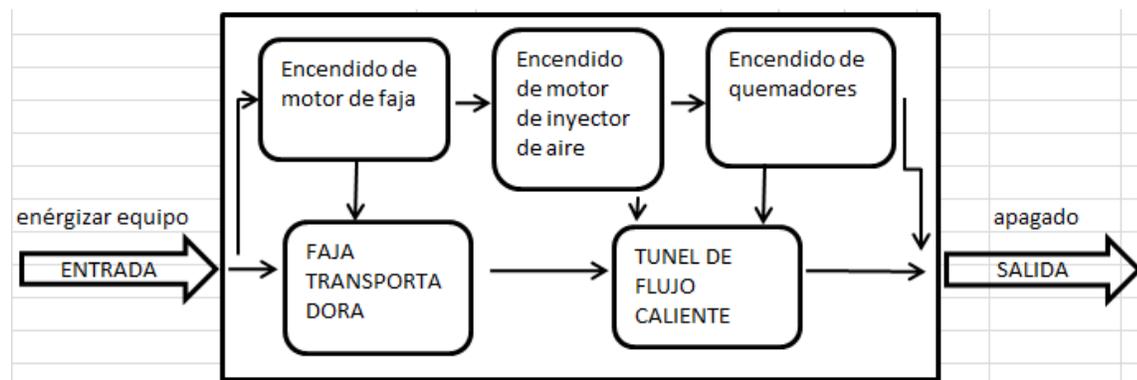
3.9 Estructura de funciones:

Para el funcionamiento se siguen etapas y funciones dispuestas en el siguiente orden según.

(Barriga Gamarra, 2006)

- Energizar equipo.
- Encendido de motor de faja.
- Programación de faja transportadora.
- Encendido de motor de inyección de aire.
- Encendido de quemadores.
- Programación de túnel de flujo caliente.
- Apagado.

Figura 3.3
Estructura de Funciones del Túnel de Termocontraído

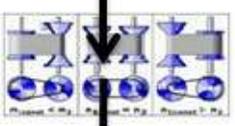


Fuente: Elaboración Propia

3.10 Matriz morfológica

Para construir la matriz morfológica se consideró los materiales y equipos las cuales de un grupo numeroso las redujimos alas que más se adaptan a nuestras condiciones. (Barriga Gamarra, 2006)

Figura 3.4
Matriz de Funciones

FUNCIONES PARCIALES	ALTERNATIVA 01	ALTERNATIVA 02	ALTERNATIVA 03
SOPORTE Y ESTRUCTURA DE MAQUINA	Plancha Acéro Inoxidable 	Plancha de cobre 	Plancha galvanizada 
TIPO DE CALENTADOR PARA TUNEL	Quemador Gaslp 	Resistencia Eléctrica 	Quemadores Infrarrojos 
TIPO DE INYECCION DE FLUJO PARA TUNEL	Ventilador Centrifugo 	Ventilador Axial 	ventilador inducido 
TIPO DE CONTROLADOR DE VELOCIDAD PARA FAJA	Sistema de Poleas 	Variador integrado 	variador de velocidad 
TIPO DE MALLA DE TRANSPORTE	Banda Metalica con recubrimiento 	Banda de cadenas con rodillos 	Banda PVC 
SISTEMA DE CONTROL	Tablero de control eléctrico 	Tablero de control electrónico 	Tablero de control con panel digital 

Concepto de solución 1 

Concepto de solución 2 

Concepto de solución 3 

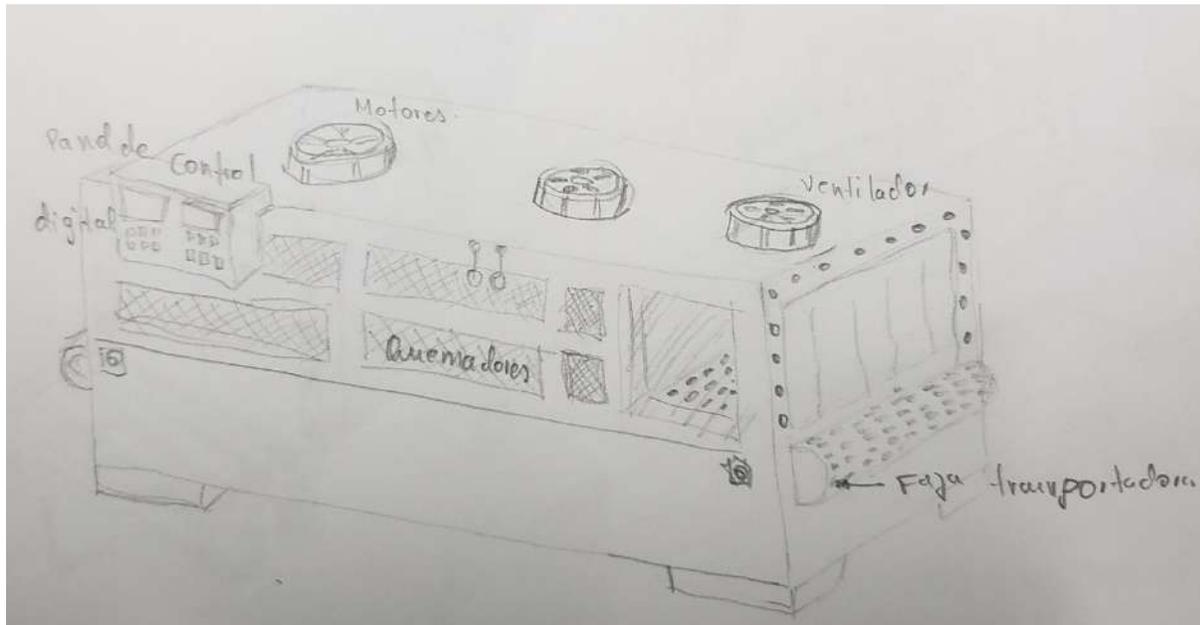
Concepto de solución 4 

3.11 Prototipo de alternativas de solución.

A. Alternativa de solución 1

Figura 3.5

Túnel de Termocontraído con Accionamiento por Fajas

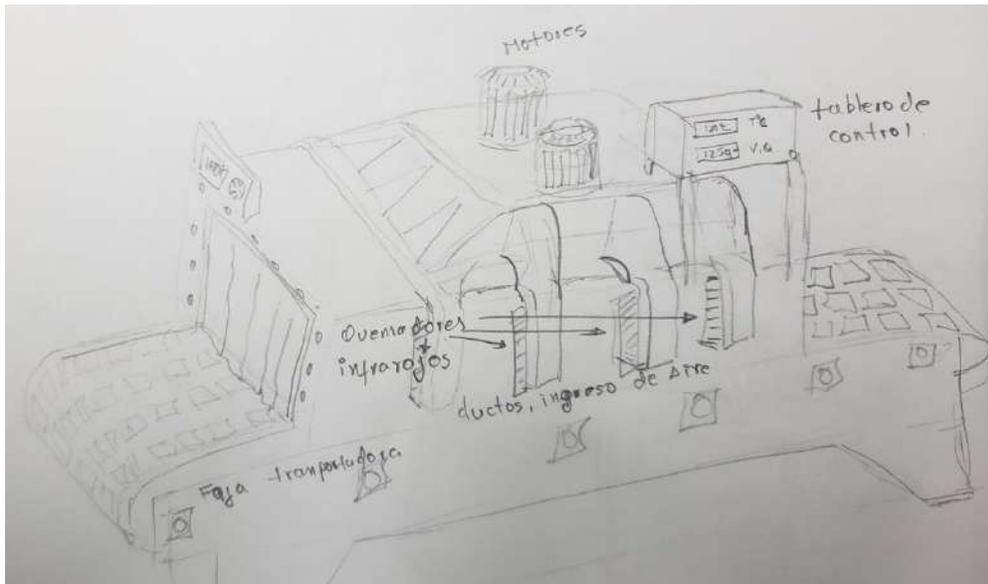


Alternativa de solución 1.

Fuente: Elaboración propia

B. Alternativa de solución 2.

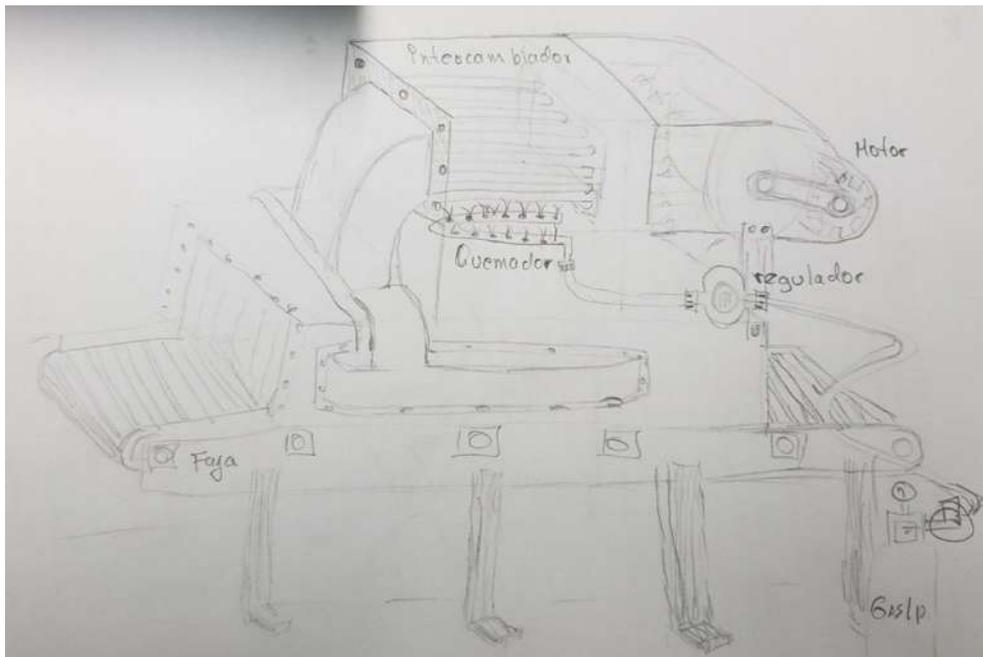
Figura 3.6
Túnel de Termocontracción con quemadores de rayos infrarrojos



Alternativa de solución 2
Fuente: Elaboración propia

C. Alternativa de solución 3.

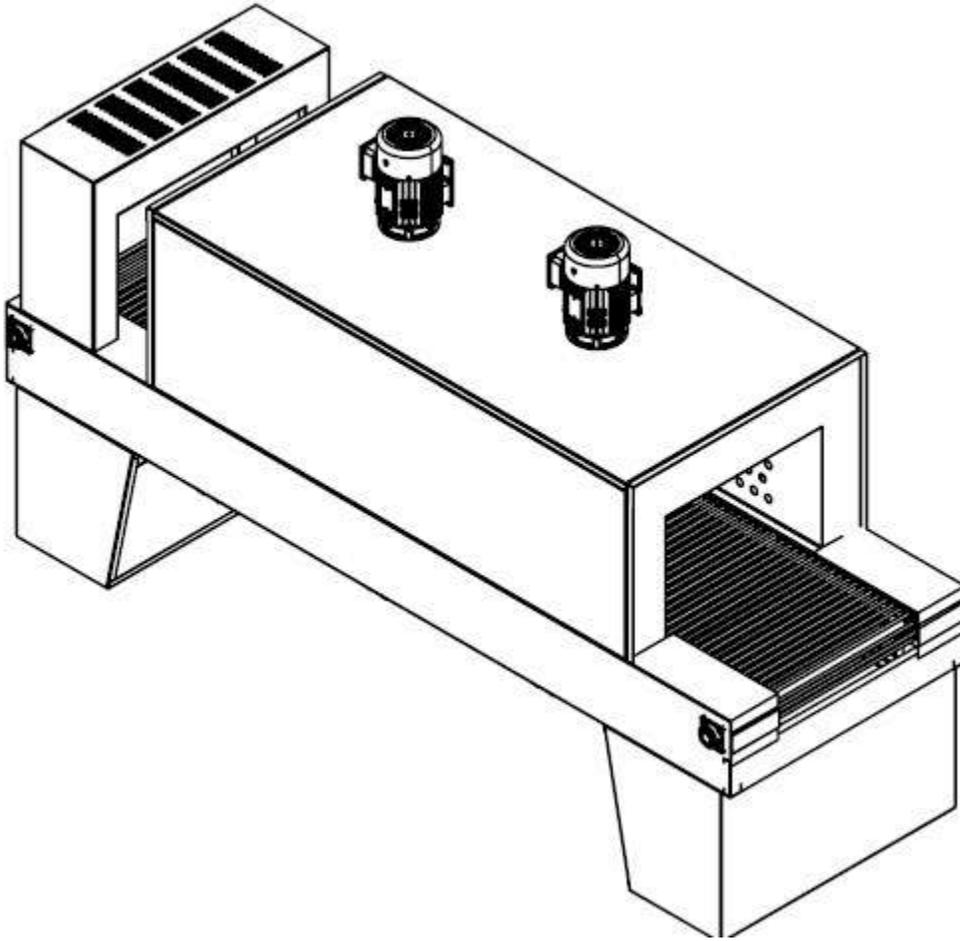
Figura 3.7
Túnel de Termocontracción con quemadores a glp



Alternativa de solución 3
Fuente: Elaboración propia

D. Alternativa de solución 4.

Figura 3.8
Túnel de Termocontraído con Quemadores Eléctricos



Alternativa de solución 4.
Fuente: Elaboración propia

3.12 Evaluación de valoración técnico para el concepto solución planteado

En la evaluación de valoración técnico podemos realizar dos tipos de análisis uno técnico y otro económico siguiendo el procedimiento método de evaluación según VDI 2225.

3.12.1 Evaluación técnica para el diseño

Tabla 3.2
Criterio de Evaluación Técnica

Diseño Mecánico - Evaluación de Proyectos Valor Técnico (Xi)										
Proyecto: DISEÑO DE UN SISTEMA DE TERMOCONTRAIDO, PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN EN LA LÍNEA DE EMPAQUETADO, DENTRO DE UNA PLANTA EMBOTELLADORA DE AGUA										
Puntaje dado (p) con valores de 0 a 4 (Valoración según directriz VDI 2225) 0= No cumple, 1= Cumple a las justas 2= Es Suficiente 3=Bien 4= Muy Bien (Ideal) g: es el porcentaje ponderado (%) es en función de este criterio.										
Evaluación de los criterios tomados en la concepción del proyecto.										
Criterios para realizar la evaluación.		g	Solución S ₁		Solución S ₂		Solución S ₃		Solución S ₄	
Nº	Criterios para conceptualizar	%	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función	12	3	36	3	36	3	36	3	36
2	Geometría	5	3	15	2	10	3	15	4	20
3	Cinemática	7	2	14	2	14	2	14	2	14
4	Cinética	8	2	16	2	16	2	16	2	16
5	Fuerza	7	2	14	2	14	3	21	3	21
6	Energía	7	3	21	2	14	2	14	3	21
7	Materia	7	2	14	3	21	2	14	2	14
8	Señales	5	3	15	3	15	3	15	3	15
9	Seguridad	5	3	15	3	15	3	15	3	15
10	Ergonomía	7	3	21	3	21	3	21	3	21
11	Fabricación	11	3	33	3	33	3	33	3	33
12	Montaje	7	3	21	3	21	3	21	3	21
13	Transporte	4	3	12	3	12	3	12	3	12
14	Mantenimiento	8	2	16	2	16	2	16	2	16
$\sum p_i * g_i$		100	37	263	36	258	37	263	39	275
$(\sum p_i * g_i) / 100$				2.63		2.58		2.63		2.75
Valor técnico: xi				0.658		0.645		0.6575		0.688

Nota: Evaluación Técnica Adaptado Según VDI 2225,2006

3.12.2 Evaluación económica para el diseño

Tabla 3.3
Criterio de Evaluación Económica

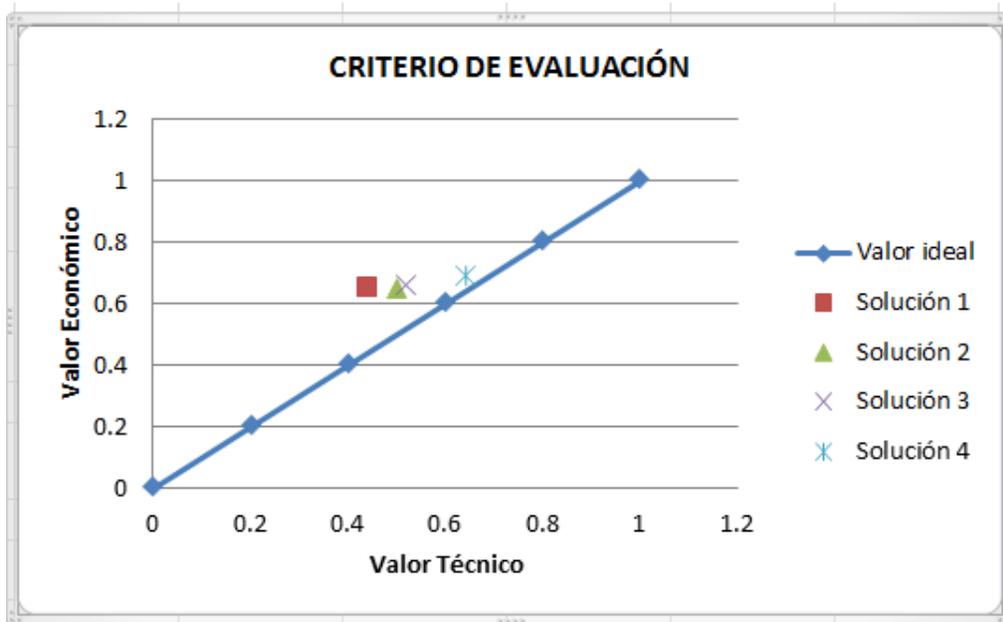
Diseño Mecánico - Evaluación de Proyectos Valor Económico (Yi)										
Proyecto: DISEÑO DE UN SISTEMA DE TERMOCONTRAIDO, PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN EN LA LÍNEA DE EMPAQUETADO, DENTRO DE UNA PLANTA EMBOTELLADORA DE AGUA										
Puntaje dado (p) con valores de 0 a 4 (Valoración según directriz VDI 2225) 0= No cumple, 1= Cumple a las justas 2= Es Suficiente 3=Bien 4= Muy Bien (Ideal) g: es el porcentaje ponderado (%) es en función de este criterio.										
Evaluación de los criterios tomados en la concepción del proyecto.										
Criterios para realizar la evaluación.		g	S ₁		S ₂		S ₃		S ₄	
N°	Criterios para conceptualizar	%	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Costo de material	35	2	70	2	70	2	70	2	70
2	Costo de fabricación	25	2	50	2	50	2	50	3	75
3	Costo de montaje	8	2	16	2	16	3	24	3	24
4	Costo de operación	24	1	24	2	48	2	48	3	72
5	Mantenimiento	8	2	16	2	16	2	16	2	16
$\sum p_i * g_i$		100	9	176	10	200	11	208	13	257
$(\sum p_i * g_i) / 100$				1.76		2		2.08		2.57
Valor Económico: yi				0.44		0.5		0.52		0.643

Nota: Evaluación Económica Adaptado Según VDI 2225,2006

3.13 Selección del túnel de termocontraido optimo

Al obtener ambas coordenadas representadas por el valor técnico (Xi) y valor económico (Yi) procedemos a realizar una gráfica técnico vs económico para poder realizar la toma de decisión; dar una solución ideal el cual será el punto más próximo a la pendiente de solución ideal según se muestra el grafico.

Figura 3.9
Evaluación Entre Criterio Técnico y Económico



Nota: La Gráfica Representa el Punto que Mejor se Acerca Entre la Solución más Óptima Técnico – Económica

Fuente: Elaboración Adaptación según metodología VDI 2225

Según el análisis técnico - económico, de la figura 3.8 la línea que va entre el valor económico y valor técnico es el valor ideal que puede tener una maquina al momento de construirse, por lo tanto nosotros elegiremos el valor que sea más próximo a esta línea. Entonces tomamos la decisión de seleccionar la Solución N°4 para el diseño y construcción del túnel de termocontraído.

CAPÍTULO IV

4 CÁLCULO TÉRMICO EN LA CÁMARA DE TÚNEL

4.1 Consideraciones térmicas de la cámara

Para poder realizar un análisis de balance energético debemos de determinar el tipo de trabajo que va a realizar la cámara térmica; para ello consideramos 2 tipos de proceso, los sistemas de trabajo continuos y los intermitentes; nosotros elegiremos el tipo de trabajo que realizan dentro de la planta embotelladora; el tipo de proceso que se sigue en la línea de producción de la empresa embotelladora de agua trabaja de forma continua, por tal razón necesitamos trabajar con un sistema de proceso continuo el cual se adecuara a la línea de producción. (Astirraga, 1995)

4.1.1 Proceso continuo

En los sistemas térmicos de proceso continuo se caracteriza porque se determina la producción en relación al tiempo (Kg/h) a este proceso le podemos llamar una producción horaria.

En la cámara de túnel de los sistemas continuos, la temperatura se encuentra prácticamente constante en cada zona a lo largo del tiempo que dura el termoencogido, con una ligera variación a la entrada y salida del túnel.

El túnel de termocontraído trabaja de forma continua, con una producción horaria (Kg/h) a su vez también se debe considerar la producción específica ($\text{kg/m}^2 - h$), esta última se refiere a la superficie total del file que envuelve la carga; la cual se transmite el calor en toda el área ocupada por el paquete o carga.

En consumo de energía es de forma constante durante el proceso de termocontracción del paquete durante la de producción.

4.1.2 Proceso intermitente

Se caracteriza por producir una determinada cantidad de carga en un periodo de tiempo, a esta operación se le conoce como carga producida por operación y puede ser medida en kilogramos o tonelada según la cantidad que se llegue a producir.

En los sistemas térmicos intermitentes la temperatura varía con el tiempo de acuerdo a la cantidad que esté produciendo, pero puede mantenerse relativamente constante a lo largo de la cámara durante un tiempo determinado.

En este proceso el túnel produce una cantidad de carga en kg en un determinado tiempo; en este caso nos interesa saber la capacidad de calentar una carga medida en Kg/h, como variable tenemos el tiempo que tarda en calentar y la capacidad volumétrica específica ($\text{kg/m}^3 - \text{h}$), estos se refieren al volumen útil en el interior del túnel y al volumen que ocupa el paquete.

4.2 Análisis energético de túnel térmico

Para realizar el balance energético tomaremos como base la producción dentro de la planta la cual es continua, al tener una producción constante el sistema térmico se mantiene en equilibrio eso significa que no existe cambios significativos en el trabajo desde el principio hasta el fin, de esta forma al realizar las mediciones al final del periodo estos sean las mismas que al inicio, debido a que las variaciones que se produzcan sean mínimas, todos los componentes permanecen constantes en la variación de calor porque lo que se pierde se equilibra con lo que se aporta al sistema. (Astirraga, 1995)

En el balance de energía se puede distinguir lo siguiente:

4.2.1 Análisis de energía en condición estable

Al analizar el funcionamiento de un sistema térmico en condición estable, este trabaja de una forma iterativo (repetitiva) sin tener cambios importantes, paradas repentinas o cambios bruscos durante el proceso haciendo una variación significativa en la temperatura, en los sistemas continuos supone que las cargas son constantes, las temperaturas están equilibradas en todas las áreas de túnel, la velocidad de transporte es constante no varía en el tiempo a lo largo del ducto. Se debe evitar la excesiva perdida de calor realizando un control adecuado en el aislamiento térmico en todas las zonas del túnel. En los sistemas térmicos discontinuos operan en ciclos lo que sugiere paradas enfriamiento del horno por completo durante estos ciclos de trabajo no existe variación en las cargas y temperaturas porque trabajan de forma repetitiva. En ambos casos existe una equivalencia energética la denotamos de la siguiente forma: (Incropera & De Witt, 1999)

$$Ener_{aportada} = Ener_{consumida}$$

Lo mismo sucede con el calor en un determinado rango de tiempo

$$Calor_{que\ se\ aporta} = Calor_{que\ se\ consume}$$

4.2.2 Análisis de energía en condición real

Para realizar el balance energético en condiciones reales debemos de tener un funcionamiento estable, esto quiere decir que las condiciones de producción nominal del sistema no debe tener una excesiva variación, no alargar demasiado el tiempo de parada o una variación excesiva en la carga.

En condiciones reales es natural que exista algunos cambios en el proceso como puede ser incremento o disminución de temperatura por el tipo de file que se utiliza, trabajo con diferentes

cargas también puede existir la posibilidad de variar la cantidad de producción, paradas no programadas por fallas de componentes o en la línea de producción, manteamientos, diferencia de funcionamiento según la producción de cada turno de trabajo, paradas fin de semana días no laborables, etc. Además de estas condiciones debemos tener en cuenta las pérdidas que ocurren a lo largo del túnel térmico, perdidas en paredes faja transportadora, al ingreso y salida del túnel, temperatura consumida por la carga, es importante el tipo de materiales que se utilizan así como el tipo de aislamiento con que la maquina cuenta, las condiciones ambientales son mínimas puesto que la maquina se encuentra dentro de una planta donde las temperaturas no varían considerablemente, además por los cálculos de balance de energía están dentro de la cámara que está prácticamente aislada del ambiente. Esto quiere decir que la energía usada por la carga más la energía que se pierde en el sistema debe ser equivalente a la energía aportada al sistema.

Al realizar un análisis del balance térmico utilizaremos la primera ley de termodinámica (ley de conservación de energía). (Incropera & De Witt, 1999)

$$E_{aire\ aportado} = E_{carga} + E_{pérdidas\ en\ el\ sistema}$$

Para obtener calor podemos dividir la ecuación anterior, entre un instante de tiempo Δt y tenemos:

$$Q_{aire} = Q_{carga} + Q_{pérdidas} \quad (4.1)$$

4.3 Calor requerido para la termocontracción del file

Se requiere calcular el calor útil que se necesita para termocontraer el file que envuelve al paquete, este calor tendrá impacto sobre cada uno de los componente de la carga.

Calor requerido para el proceso de retracción de la película que envuelve el paquete dentro del túnel térmico está dado por la siguiente condición. (Incropera & De Witt, 1999)

$$q_1 = \dot{m}_1 C_p (T_{sal} - T_{ent}) \quad (4.2)$$

Dónde:

$q_1 =$ Calor entregado

$\dot{m}_1 =$ Flújo masico del material [kg/s]

$C_p =$ Calor específico del material [J/kg°K]

$T_{sal} =$ Temperatura con la que sale [°K]

$T_{ent} =$ Temperatura con la que entra[°K]

Para poder realizar el cálculo de energía requerida por la carga tomaremos como datos el volumen de los envases que produce la planta embotelladora, el tipo de file, temperatura de trabajo entre otras condiciones.

En la planta se envasan botellas de 2 L, 1 L y 0.5 L para nuestros cálculos tomaremos el envase de mayor tamaño los cuales son de 2 litros, porque requiere mayor calor, asumiremos las propiedades del agua para el contenido de las botellas, propiedades del envase (PET), file termoplástico, aire que se encuentra dentro de la botella.

La carga está compuesta por 6 unidades de botellas dispuestas en una configuración de 3x2, 3 botellas dispuesta a lo ancho y 2 a lo largo. A este conjunto se embalara con un file termoencogible utilizando un polietileno a de alta densidad PEAD con un espesor de 35 a 45 micras el cual requiere temperaturas 180°C - 240°C para termoencogerse.

Condiciones de la carga

La Carga equivale a un paquete que está envuelta en un termoplástico con 6 unidades de botellas dispuestas en una configuración de 3X2, cada botella tiene 350mm de altura y 100mm de diámetro, para efectos de cálculo asumiremos que las botellas son cilindros perfectos. Las dimensiones finales del paquete serán ancho 300mm, alto 350mm y largo 200mm.

Para poder realizar los cálculos térmicos tomaremos como datos la temperatura media anual del ciudad del Cusco que va (10 hasta los 13) °C y tomaremos como valor de trabajo 12°C también tomaremos en cuenta el tiempo que necesita el file en contraerse en su totalidad este varía entre los 20 a 35 segundos según el espesor.

Para determinar la masa y carga de cada componente sacamos la información de fichas técnicas de fabricación y uso de cada componente. Esto nos permitirá determinar el flujo másico de cada elemento.

- 1) **Película polietileno de alta densidad PEAD:** espesor de (ET311126 - 0.04 mm) 40 micras, alto 0.35 m, diámetro 0,100 m y densidad (0.940 - 0.910 g/cm³) 925 kg/m³. (Braskem, 2016)

$$m = \rho * V_p \quad (4.3)$$

$$m_{PEAD} = 925 \text{ Kg/m}^3 * (\pi * 0.100\text{m} * 0.35\text{m} * 4.0 \times 10^{-5}\text{m})$$

$$m_{PEAD} = 4.06 \times 10^{-3} \text{ Kg/Botella}$$

Determinamos el flujo másico, se tiene la producción requerida que son 120 *botellas/minuto* equivalente a $Prod = 20 \text{ paquetes/minuto}$ entonces tenemos:

$$\dot{m} = m * Prod \quad (4.4)$$

$$\dot{m}_{PEAD} = 4.06 \times 10^{-3} \frac{Kg}{Botella} \times 120 \frac{Botella}{min} \times \frac{1min}{60seg}$$

$$\dot{m}_{PEAD} = 8.12 \times 10^{-3} Kg/s$$

2) **Envase PET:** espesor de 0.4 mm, alto 0.35 m diámetro 0,100 m y densidad 1380 kg/m³

$$m = \rho * V_p$$

$$m_{PET} = 1380 \text{ Kg/m}^3 * \pi * 0.100m * 0.35m * 4 \times 10^{-4}$$

$$m_{PET} = 60.69 \times 10^{-3} Kg/Botella$$

Determinamos el flujo de masa para 120 *botellas/minuto* tenemos:

$$\dot{m} = m * Prod$$

$$\dot{m}_{PET} = 60.69 \times 10^{-3} \frac{Kg}{Botella} \times 120 \frac{Botella}{min} \times \frac{1min}{60seg}$$

$$\dot{m}_{PET} = 121.38 Kg/s$$

3) **Agua:** almacenado dentro de las botellas de 2 litros consideramos la densidad del agua 1000 kg/m³.

$$m = \rho * V_p$$

$$m_{liq} = 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 2 \text{ litros} \times \frac{1 m^3}{1000 \text{ litros}}$$

$$m_{liq} = 2 Kg/Botella$$

Determinamos el flujo de masa para 120 *botellas/minuto* tenemos:

$$\dot{m} = m * Prod$$

$$\dot{m}_{liq} = 2 \frac{Kg}{Botella} \times 120 \frac{Botella}{min} \times \frac{1min}{60seg}$$

$$\dot{m}_{liq} = 4 Kg/s$$

Las botellas PET no son llenadas en su totalidad, hay un volumen de gas en el interior de las mismas, sea cualquier el gas que se introduzca, para todo caso asumiremos las propiedades del aire.

- 4) **Aire:** dentro del envase existe una cantidad de agua y otra de gas, la botella tiene un alto total de 0.35m la cual el líquido esta hasta una altura aproximada de 0.25m y el resto del volumen vendría a ser el gas existente consideraremos la densidad del aire a nivel del cusco aproximado de 1.225 Kg/m³

$$H_{liq} = \frac{4 V}{\pi D^2} \quad (4.5)$$

$$H_{liq} = \frac{4 \times 0.002m^3}{\pi (0.100m)^2} = 0.25 m$$

$$H_{Gas} = H_{total} - H_{liq} \quad (4.6)$$

$$H_{gas} = 0.35 - 0.25 = 0.10 m$$

Determinamos la masa teniendo la altura que ocupa el gas.

$$m = \rho * V$$

$$m_{gas} = 1.225 \frac{Kg}{m^3} \times \left(\frac{0.10 \times \pi (0.100m)^2}{4} \right)$$

$$m_{gas} = 1.225 \frac{Kg}{m^3} \times \left(\frac{0.10 \times \pi (0.100m)^2}{4} \right)$$

$$m_{gas} = 0.96 \times 10^{-3} \frac{Kg}{botella}$$

Determinamos el flujo de masa para los 120 botellas /minuto.

$$\dot{m} = m * Prod$$

$$\dot{m}_{gas} = 0.96 \times 10^{-3} \frac{Kg}{Botella} \times 120 \frac{Botella}{min} \times \frac{1min}{60seg}$$

$$\dot{m}_{gas} = 192 \times 10^{-3} Kg/s$$

Ahora tenemos el flujo másico de todo el paquete.

$$\dot{m}_{paquete} = \dot{m}_{PEAD} + \dot{m}_{PET} + \dot{m}_{liq} + \dot{m}_{gas} \quad (4.7)$$

$$\dot{m}_{paquete} = 8.12 \times 10^{-3} + 121.38 \times 10^{-3} + 4 + 1.92 \times 10^{-3} (Kg/s)$$

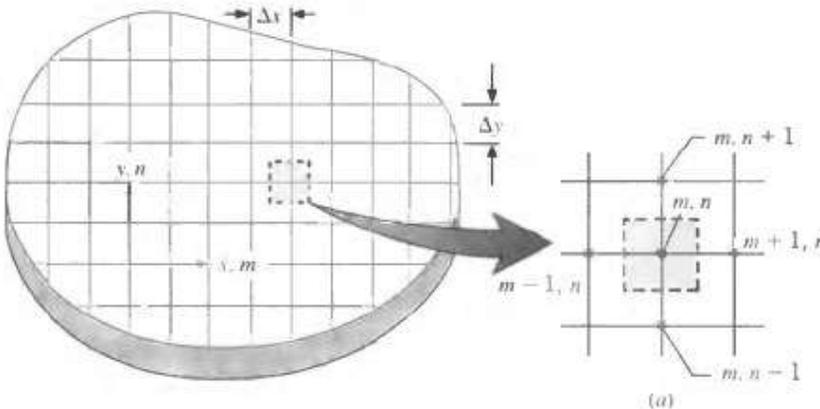
$$\dot{m}_{paquete} = 4.1314 (Kg/s)$$

A. Red nodal en estado estable

Los métodos analíticos, en ciertos casos nos servirán para obtener soluciones matemáticas para la conducción bidimensional en estado estable, usaremos la técnica del método de diferencias finitas. Esto porque necesitamos determinar una temperatura en cualquier punto aplicando así una red nodal para poder hallar ecuaciones que nos permitan conseguir valores numéricos.

El conjunto de ecuaciones resultantes, solucionaremos de forma simultánea para las temperaturas en cada nodo.

Figura 4.1
Conducción a un Nodo Interior Desde sus Nodos Contiguos.



Fuente: Capítulo 4 Conducción Bidimensional de Estado Estable pág. 174, Frank Incropera, 4ta Edición

B. Balance de energía en un volumen de control

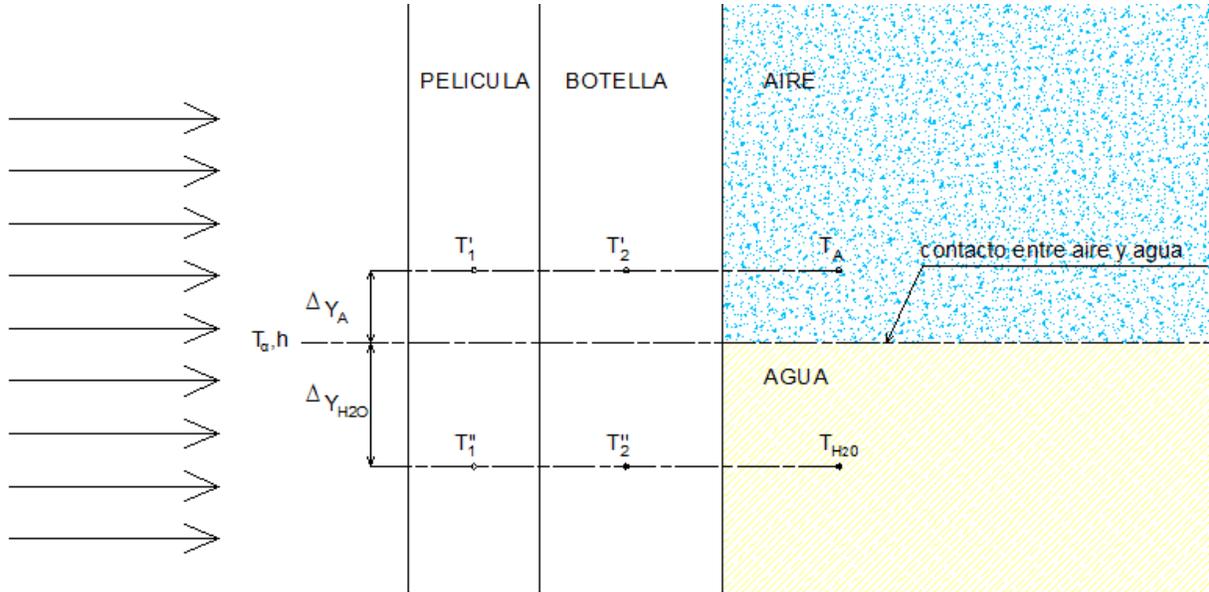
Lo primero que realizamos es aplicar el balance de energía en un volumen de control aplicado sobre una región nodal, para poder determinar las temperaturas de salida en todos los componentes; usaremos ecuaciones de conservación necesarias que puedan corresponder a cada punto nodal, la dirección real del flujo las direccionaremos hacia el nodo. Las ecuaciones propuestas se resolverán de manera simultánea y determinaremos las temperaturas.

Nuestro sistema lo podemos considerar bidimensional, puesto que tenemos espesores reales de la película termocontraíble y del envase, estos espesores interactúan directamente en el proceso de la retracción del file; para plantear el problema asumiremos las siguientes condiciones:

- Es de régimen transitorio con propiedades que permanecen constantes.
- Propiedades homogéneas y constantes en cada material.
- El calor se mantiene constante en el interior de la cámara, no existe generación de energía.

- La transmisión energética hacia la carga por radiación es nula.

Figura 4.2
Balance de Energía en Cada Punto de la Capa Múltiple del Paquete



Nota: Los Puntos Ubicados en Cada Zona de la Pared compuesta de la película y la Botella, tienen Temperaturas Distintas.

Al paquete cuyo envoltorio es la película termoretraible contiene botellas las cuales ya definimos sus dimensiones, tenemos que tomar en cuenta que cada botella tiene un volumen de 2lt, con una altura total de 0.35m, el contenido de agua está hasta una altura de 0.28m y el contenido de aire es la altura restante, de esta forma podemos distinguir las alturas en la que están los puntos en el balance de energía distribuidas como se ve en la imagen anterior:

$$H_{aire} = 0.07 \text{ m}$$

$$H_{H_2O} = 0.28 \text{ m}$$

$$\Delta y_A = \frac{H_{aire}}{2} = \frac{0.07\text{m}}{2} = 0.035\text{m}$$

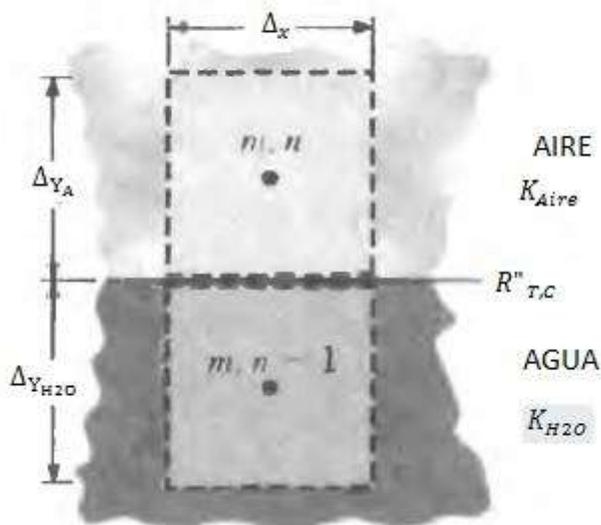
$$\Delta y_{H_2O} = \frac{H_{H_2O}}{2} = \frac{0.28m}{2} = 0.14m$$

$$\Delta x_1 = \text{Espesor de película termoconducible} = 40 \text{ micras} = 4 \times 10^{-5} m$$

$$\Delta x_2 = \text{Espesor de envase} = 0.4 \text{ mm} = 4 \times 10^{-4} m$$

Deducimos las ecuaciones a partir del balance de energía la energía que ingresa será igual a la energía que almacena.

Figura 4.3
Conducción de Materiales



Nota: Conducción De Materiales Diferentes Contiguos Con Una Resistencia De Contacto En La Interfaz

Fuente: Capítulo 4 Conducción Bidimensional de Estado Estable pág. 193, Frank Incropera, 4ta Edición

Conducción entre materiales diferentes contiguos con una resistencia de contacto en la interfaz.

Para formular las ecuaciones partiremos de un esquema de balance energético en una superficie de control.

$$Q_{entrega} - Q_{almacena} = 0 \Rightarrow Q_{entrega} = Q_{almacena}$$

Dónde:

$Q_{entrega}$: Calor entregado por el flujo de aire

$Q_{almacena}$: Calor almacenado en el proceso de termocontracción

$$\begin{aligned} & \frac{2P_1\Delta y_A(T_\alpha - T_1^p)}{R_{Conv-cond}} + \frac{2P_1\Delta y_A(T_2^p - T_1^p)}{R_{1-2}} + \frac{P_1\Delta x_1(T_1^{p+1} - T_1^p)}{\frac{\Delta y_A + \Delta y_{H_2O}}{K_1}} \\ & = \frac{2\rho_1 P_1 \Delta y_A C p_1 (T_1^{p+1} - T_1^p)}{\Delta t_1} \end{aligned} \quad (4.8)$$

El superíndice p la utilizamos para denotar la dependencia con respecto al tiempo $t = p\Delta t$

Al despejar y simplificar para hallar la ecuación de temperatura T_1^{p+1} del file que está en contacto con el ambiente y está a nivel del gas.

$$\begin{aligned} T_1^{p+1} &= \frac{1}{2} \left[\frac{Fo'_1 \Delta x_1^2 T_1^{p+1}}{\Delta y_A (\Delta y_A + \Delta y_{H_2O})} \right] + \frac{Fo'_1 \Delta x_1}{k_1} \left[\frac{T_\alpha}{R_{Conv-cond}} + \frac{T_2^p}{R_{1-2}} \right] \\ &+ \left[1 - Fo'_1 \left\{ \frac{\Delta x_1}{k_1} \left(\frac{1}{R_{Conv-cond}} + \frac{1}{R_{1-2}} \right) + \frac{\Delta x_1^2}{2\Delta y_A (\Delta y_A + \Delta y_{H_2O})} \right\} \right] T_1^p \end{aligned} \quad (4.9)$$

El sistema que tenemos es de tipo transitorio, la conclusion para las temperaturas nodales se aproxima a una forma continua a los valores finales al incrementar el tiempo. un inconveniente de este metodo es que la solucion esta caracterizada por oscilaciones numericamente inducidas, que fisicamente resultan ser imposibles, porque las oscilaciones se vuelven inestables, esto ocasiona que los resultados sean diferentes a las condiciones finales reales. Para no incurrir en estos errores el valor que establecemos en Δt debe mantenerse por debajo del limite propuesto. A esta dependencia se denomina criterio de estabilidad. Con este criterio podemos afirmar que el coeficiente asociado con el nodo, en el tiempo anterior sea mayor o igual a cero. Agrupamos y

simplificamos los terminos que incluyen $T_{m,n}^p$ para obtener una ecuación en función del coeficiente; con este resultado obtenemos una relación limite del cual se obtendra el mayor valor permisible de Δt .

Ahora determinamos el incremento de tiempo permisible de la siguiente expresión.

$$\left[1 - Fo'_{1'} \left\{ \frac{\Delta x_1^2}{2\Delta y_A(\Delta y_A + \Delta y_{H_2O})} + \left(\frac{1}{R_{1-2}} + \frac{1}{R_{Conv-cond}} \right) \frac{\Delta x_1}{k_1} \right\} \right] \geq 0$$

$$\frac{1}{Fo'_{1'}} \geq \frac{\Delta x_1^2}{2\Delta y_A(\Delta y_A + \Delta y_{H_2O})} + \frac{\Delta x_1}{k_1} \left(\frac{1}{R_{Conv-cond}} + \frac{1}{R_{1-2}} \right)$$

$$Fo'_{1'} = \Delta t'_{1'} \frac{k_1}{\rho_1 Cp_1 \Delta x_1^2} \quad (4.10)$$

Despejamos y reemplazando obtenemos lo siguiente.

$$\frac{1}{\frac{\Delta t'_{1'} k_1}{\rho_1 Cp_1 \Delta x_1^2}} \geq \frac{\Delta x_1^2}{2\Delta y_A(\Delta y_A + \Delta y_{H_2O})} + \frac{\Delta x_1}{k_1} \left(\frac{1}{R_{Conv-cond}} + \frac{1}{R_{1-2}} \right)$$

$$\Delta t'_{1'} \leq \frac{\rho_1 Cp_1 \Delta x_1^2}{\frac{k_1 \Delta x_1^2}{2\Delta y_A(\Delta y_A + \Delta y_{H_2O})} + \Delta x_1 \left(\frac{1}{R_{1-2}} + \frac{1}{R_{Conv-cond}} \right)} \quad (4.11)$$

De igual manera despejaremos y reemplazaremos las otras temperaturas nodales.

Para calculo en el punto del file que está en contacto con el ambiente y está a la altura del H_2O

$$T_1^{n,p+1} = \frac{Fo'_{1'} \Delta x_1}{k_1} \left[\frac{T_2^{n,p}}{R_{1-2}} + \frac{T_\alpha}{R_{Conv-cond}} \right] + \frac{Fo'_{1'} (\Delta x_1^2) T_1^{n,p}}{2\Delta y_{H_2O}(\Delta y_A + \Delta y_{H_2O})}$$

$$+ \left[1 - Fo''_{1'} \left\{ \frac{\Delta x_1^2}{2\Delta y_{H_2O}(\Delta y_A + \Delta y_{H_2O})} + \frac{\Delta x_1}{k_1} \left(\frac{1}{R_{1-2}} + \frac{1}{R_{Conv-cond}} \right) \right\} \right] T_1^{n,p} \quad (4.12)$$

$$Fo''_1 = \Delta t''_1 \frac{k_1}{\rho_1 Cp_1 \Delta x_1^2} \quad (4.13)$$

$$\Delta t''_1 \leq \frac{\rho_1 Cp_1 \Delta x_1^2}{\frac{k_1 \Delta x_1^2}{2\Delta y_{H_2O}(\Delta y_A + \Delta y_{H_2O})} + \Delta x_1 \left(\frac{1}{R_{Conv-cond}} + \frac{1}{R_{1-2}} \right)} \quad (4.14)$$

Para calculo en el punto del file en contacto con la botella y el gas (a)

$$T_2^{p+1} = \frac{Fo'_2 \Delta x_2}{k_2} \left[\frac{T_1^p}{R_{1-2}} + \frac{T_A^p}{R_{2-A}} \right] + \frac{Fo'_2 \Delta x_2^2 T_2^p}{2\Delta y_A(\Delta y_A + \Delta y_{H_2O})} + \left[1 - Fo'_2 \left\{ \frac{\Delta x_2^2}{2\Delta y_A(\Delta y_A + \Delta y_{H_2O})} + \frac{\Delta x_2}{k_2} \left(\frac{1}{R_{1-2}} + \frac{1}{R_{2-A}} \right) \right\} \right] T_2^p \quad (4.15)$$

$$Fo'_2 = \Delta t'_2 \frac{k_2}{\rho_2 Cp_2 \Delta x_2^2} \quad (4.16)$$

$$\Delta t'_2 \leq \frac{\rho_2 Cp_2 \Delta x_2^2}{\frac{k_2 \Delta x_2^2}{2\Delta y_A(\Delta y_A + \Delta y_{H_2O})} + \Delta x_2 \left(\frac{1}{R_{1-2}} + \frac{1}{R_{2-A}} \right)} \quad (4.17)$$

Para calculo en el punto de la botella en contacto con H_2O

$$T_2^{m+1} = \frac{Fo''_2 \Delta x_2}{k_2} \left[\frac{T_1^m}{R_{1-2}} + \frac{T_{H_2O}^m}{R_{2-H_2O}} \right] + \frac{Fo''_2 \Delta x_2^2 T_2^m}{2\Delta y_{H_2O}(\Delta y_A + \Delta y_{H_2O})} + \left[1 - Fo''_2 \left\{ \frac{\Delta x_2^2}{2\Delta y_{H_2O}(\Delta y_A + \Delta y_{H_2O})} + \frac{\Delta x_2}{k_2} \left(\frac{1}{R_{1-2}} + \frac{1}{R_{2-H_2O}} \right) \right\} \right] T_2^m \quad (4.18)$$

$$Fo''_2 = \Delta t''_2 \frac{k_2}{\rho_2 Cp_2 \Delta x_2^2} \quad (4.19)$$

$$\Delta t''_2 \leq \frac{\rho_2 Cp_2 \Delta x_2^2}{\frac{k_2 \Delta x_2^2}{2(\Delta y_A + \Delta y_{H_2O})} + \Delta x_2 \left(\frac{1}{R_{1-2}} + \frac{1}{R_{2-H_2O}} \right)} \quad (4.20)$$

Para calculo en el punto del gas (a)

$$T_A^{p+1} = \frac{Fo_A D}{k_A} \left[\frac{4T_2^p}{R_{2-A}} + \frac{T_{H_2O}^p D}{2\Delta y_A R_{H_2O-A}} \right] + \left\{ 1 - \left[\frac{Fo_A D}{k_A} \left(\frac{4}{R_{2-A}} + \frac{D}{2\Delta y_A R_{H_2O-A}} \right) \right] \right\} T_A^p \quad (4.21)$$

$$Fo_A = \Delta t_A \frac{k_A}{\rho_A C p_A D^2} \quad (4.22)$$

$$\Delta t_A \leq \frac{\rho_{Aire} C p_{Aire}}{\frac{4}{R_{2-A} D} + \frac{1}{2\Delta y_A R_{H_2O-A}}} \quad (4.23)$$

Para calculo en el punto de H_2O

$$T_{H_2O}^{p+1} = \frac{Fo_{H_2O} D}{k_{H_2O}} \left[\frac{4T_2^p}{R_{2-H_2O}} + \frac{T_A^p D}{2\Delta y_{H_2O} R_{H_2O-A}} \right] + \left\{ 1 - \left[\frac{Fo_{H_2O} D}{k_{H_2O}} \left(\frac{D}{2R_{H_2O-A} \Delta y_{H_2O}} + \frac{4}{R_{2-A}} \right) \right] \right\} T_{H_2O}^p \quad (4.24)$$

$$Fo_{H_2O} = \Delta t_{H_2O} \frac{k_{H_2O}}{\rho_{H_2O} C p_{H_2O} D^2} \quad (4.25)$$

$$\Delta t_{H_2O} \leq \frac{\rho_{H_2O} C p_{H_2O}}{\frac{4}{R_{2-H_2O} D} + \frac{1}{2\Delta y_{H_2O} R_{H_2O-A}}} \quad (4.26)$$

Dónde:

Resistencia térmica de contacto en la interface.

$$R_{1-2} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} \right) \quad (4.27)$$

$$R_{2-A} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{D}{k_A} \right) \quad (4.28)$$

$$R_{conv-cond} = \frac{1}{h} + \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta x_1}{k_1} \right) \quad (4.29)$$

$$R_{2-H_2O} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{D}{k_{H_2O}} \right) \quad (4.30)$$

$$R_{A-H_2O} = \frac{\Delta y_A}{k_A} + \frac{\Delta y_{H_2O}}{k_{H_2O}} \quad (4.31)$$

En la siguiente tabla se indica las propiedades y descripción de los elementos de la carga estos se describen la película termoretraible, envase PET, agua y aire. En el proceso de termocontracción el agua incrementa su temperatura como no sabemos hasta que temperatura sube, por tal razón podemos tomar como dato el agua saturada descrita en el apéndice E, tenemos que tener en cuenta que el agua no se encuentra en este estado pero el uso de estas propiedades nos proporcionara resultados bastante cercanos a la realidad.

Tabla 4.1
Propiedades Termodinámicas De Los Componentes De La Carga

Material	File(Película termoencogible)	Botella	Agua	Aire
Unidades				
Cp(J/Kg °K)	1900	1250	4179	1007
K(W/m °K)	0.25	0.21	0.613	0.0263
ρ(Kg/m ³)	950	1410	997	1.1614
Apéndice	C	D	E	F

Nota: Tabla Construida A Partir De Todo Los Elementos Que Conforman El Paquete Con Los Datos De Cada Uno De Estos Detallados En Los Apéndices de la Presente Tesis.

La convección en un proceso de transmisión energética entre un fluido y una superficie en la cual el fluido actúa sobre la superficie generando un movimiento de calor sobre una determinada área, la convección también se transmite sobre varias superficies en contacto, es un fenómeno de

movimiento aleatorio de moléculas del fluido son transmisibles, este funciona como una mecanismo de difusión. (Incropera & De Witt, 1999)pag.284

Existe dos tipos de convección, convección libre se produce cuando la transferencia se realiza de manera natural en este proceso no existe intervención de elementos externos que puedan excitar el sistema, este existe a partir de diferencia de densidades en una diferencia de temperatura que produce el fluido, convección forzada se produce cuando se excita el sistema por medios mecánicos como puede ser un inyector de aire caliente u otro elemento que altere el flujo, para tomar el valor del coeficiente de transferencia usaremos la condición de convección libre debido a que el flujo dentro del túnel es constante no existiendo variaciones importantes de calor esto se puede traducir como si fuese una difusión de calor constante no intermitente, según la tabla obtendremos dicho valor.

Tabla 4.2

Variación de valores de coeficiente de transferencia de calor por convección.

Tipo de transferencia	Fase o Estado	$h(W/m^2 \text{ } ^\circ K)$
Convección Libre	Gases	2 - 25
	Líquidos	50 - 1000
Convección Forzada	Gases	25 - 250
	Líquidos	50 - 20000
Convección en cambio de fase	Ebullición o Condensación	2500 - 100000

Fuente: Capítulo 3 Conducción por convección pág. 113, Frank Incropera, 4ta Edición

Para realizar los cálculos asumiremos que los envases tienen forma de cilindros esto para facilitar nuestros cálculos, cuyas dimensiones son de 100mm de diámetro con 350mm de alto.

Para efecto de cálculo necesitamos calentar, incrementar la temperatura en un tiempo de 20 segundos necesarios para llegar a una temperatura de 68°C el cual asumimos, como temperatura saliente, este valor se recalculara de ser necesario y se ajustara para cumplir con el valor requerido.

T_α : Temperatura de aire caliente : 200°C

T_s : Temperatura a la salida : 68°C

T_e : Temperatura a la entrada : 13°C

Para calcular la temperatura pelicular usaremos la siguiente expresión: $T_{promedio} = \frac{T_s + T_e}{2}$

$$T_{pelicular} = T_f = \frac{T_\alpha + T_{promedio}}{2} \quad (4.32)$$

$$T_f = \frac{200 + \frac{68 + 13}{2}}{2} = 120^\circ C = 390.34 \text{ }^\circ K$$

Hora podemos calcular los valores del número de Rayleigh y con este valor calculamos el número de Nusselt. Tenemos las siguientes ecuaciones.

Rayleigh (Ra_L) mide la efectividad de la transferencia de calor por convección.

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g(T_s - T_\alpha)L^3 Pr}{T_f \nu^2} \quad (4.33)$$

Nusselt (Nu_L) mide la tendencia de un fluido a desarrollar flujos convectivos debido a ΔT .

$$\overline{Nu}_L = \left(0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right)^2 \quad (4.34)$$

Con el valor de la temperatura pelicular (T_f) iremos al apéndice F interpolamos y obtenemos los siguientes datos:

$$\nu = 26.41 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 33.8 \times 10^{-3} \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$Pr = 0.69$$

Consideraremos la aceleración de la gravedad y la altura total del envase L.

$$G = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$L = 0.35 \text{ m}$$

Con las ecuaciones 4.33 y 4.34 debemos de considerar la geometría de las botellas sean cilíndricos dispuestas verticalmente, de esta forma puedan cumplir con expresión dada.

$$\frac{D}{L} \geq \frac{35}{\left(\frac{Ra_L}{Pr}\right)^{4-1}} \quad (4.35)$$

Calculamos el número de Rayleigh de la ecuación 4.33.

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{9.8 \left(200 - \frac{68 + 13}{2}\right) \text{ }^\circ\text{C} (0.35 \text{ m})^3 * 0.69}{390.34 \text{ }^\circ\text{K} (26.41 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})^2} = 186.372 \times 10^6$$

De los datos de la botella

$$D = 0.100 \text{ m}$$

$$L = 0.35 \text{ m}$$

Teniendo el número Ra_L usaremos la ecuación 4.35.

$$\frac{D}{L} \geq \frac{35}{\left(\frac{166.12 \times 10^6}{0.69}\right)^{\frac{1}{4}}} = 0.28$$

$$\frac{D}{L} = \frac{0.10}{0.35} = 0.286 \geq 0.28$$

Cumple con la condición de la ecuación 4.35. Podemos hallar el número de Nusselt (Nu_L)

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387(166.12 \times 10^6)^{1/6}}{[1 + (0.492/0.69)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 = 73.337$$

Reemplazamos en la siguiente ecuación.

$$\bar{h} = \overline{Nu}_L k / L \quad (4.36)$$

$$\bar{h} = 70.81 \times 33.04 \times 10^{-3} \text{ W/m}^\circ\text{K} / 0.35 \text{ m} = 6.92 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$$

Ahora determinamos la resistencia térmica de contacto en la interface. Usamos las ecuaciones (4.27, 4.28, 4.29, 4.30, 4.31)

$$R_{1-2} = \frac{1}{2} \left(\frac{4 \times 10^{-5}}{0.25} + \frac{4 \times 10^{-4}}{0.21} \right) = 1.03 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{K/W}$$

$$R_{2-A} = \frac{1}{2} \left(\frac{4 \times 10^{-4}}{0.21} + \frac{0.100}{2.63 \times 10^{-2}} \right) = 1.90 \text{ }^\circ\text{K/W}$$

$$R_{conv-cond} = \frac{1}{2} \left(\frac{2}{6.92} + \frac{4 \times 10^{-5}}{0.25} \right) = 0.147 \text{ }^\circ\text{K/W}$$

$$R_{2-H_2O} = \frac{1}{2} \left(\frac{4 \times 10^{-4}}{0.21} + \frac{0.100}{0.613} \right) = 0.083 \text{ }^\circ\text{K/W}$$

$$R_{A-H_2O} = \frac{0.035}{2.63 \times 10^{-2}} + \frac{0.14}{0.613} = 2.11 \text{ }^\circ\text{K/W}$$

Teniendo el valor de las resistencias térmicas podemos reemplazamos los valores en las ecuaciones para hallar el tiempo permisible Δt .usamos las ecuaciones (4.11, 4.14, 4.17, 4.20, 4.23, 4.26)

$$\Delta t'_1 \leq \frac{\frac{950 \times 1900 \times (4 \times 10^{-5})^2}{0.25}}{\frac{(4 \times 10^{-5})^2}{2 \times 0.035 \times (0.035 + 0.14)} + \frac{4 \times 10^{-5}}{0.25} \left(\frac{1}{0.147} + \frac{1}{1.03 \times 10^{-3}} \right)}$$

$$= \frac{0.046208}{3.6571428 \times 10^{-7} + 0.2878911}$$

$$\Delta t'_1 \leq 0.074 \text{ seg}$$

$$\Delta t''_1 \leq \frac{\frac{950 \times 1900 \times (4 \times 10^{-5})^2}{0.25}}{\frac{(4 \times 10^{-5})^2}{2 \times 0.14 \times (0.035 + 0.14)} + \frac{4 \times 10^{-5}}{0.25} \left(\frac{1}{0.147} + \frac{1}{1.03 \times 10^{-3}} \right)}$$

$$= \frac{0.046208}{1.4628571 \times 10^{-7} + 0.2878911}$$

$$\Delta t''_1 \leq 0.074 \text{ seg}$$

$$\Delta t'_2 \leq \frac{\frac{1410 \times 1250 \times (4 \times 10^{-4})^2}{0.21}}{\frac{(4 \times 10^{-4})^2}{2 \times 0.035 \times (0.035 + 0.14)} + \frac{4 \times 10^{-4}}{0.21} \left(\frac{1}{1.03 \times 10^{-3}} + \frac{1}{1.9} \right)}$$

$$= \frac{1.34285714}{9.142857 \times 10^{-6} + 1.701682}$$

$$\Delta t'_2 \leq 0.727428 \text{ seg}$$

$$\Delta t''_2 \leq \frac{\frac{1410 \times 1250 \times (4 \times 10^{-4})^2}{0.21}}{\frac{(4 \times 10^{-4})^2}{2 \times 0.14 \times (0.035 + 0.14)} + \frac{4 \times 10^{-4}}{0.21} \left(\frac{1}{1.12 \times 10^{-3}} + \frac{1}{0.083} \right)} = \frac{1.34285714}{3.26531 \times 10^{-6} + 1.6881}$$

$$\Delta t''_2 \leq 0.718834 \text{ seg}$$

$$\Delta t_A \leq \frac{1.1614 \times 1007}{\frac{4}{1.90 \times 0.100} + \frac{1}{2 \times 2.11 \times 0.035}}$$

$$\Delta t_A \leq 38.736708 \text{ seg}$$

$$\Delta t_{H_2O} \leq \frac{997 \times 4179}{\frac{4}{0.083 \times 0.100} + \frac{1}{2 \times 2.11 \times 0.125}}$$

$$\Delta t_{H_2O} \leq 213.9676 \text{ seg}$$

Para seleccionar la temperatura nodal adecuado tenemos que tener en cuenta que el sistema permanezca estable que no produzca oscilaciones no deseadas en el nodo de interés, para ello se requiere las variaciones de tiempo sean mínimas y las más apropiadas de tal forma tomaremos el valor de 0.074 *seg*, así aplicamos el criterio de estabilidad.

A continuación hallamos los valores de los números de Fourier.

Obtenemos los valores de las ecuaciones (4.10, 4.13, 4.16, 4.19, 4.22, 4.25)

Para $\Delta t = 0.074$ segundos

De las ecuaciones tenemos la igualdad.

$$Fo'_1 = Fo''_1 = \frac{\Delta t'_1 k_1}{\rho_1 C p_1 \Delta x_1^2} = \frac{0.074 * 0.25}{950 * 1900 * (4 \times 10^{-5})^2}$$

$$Fo'_1 = Fo''_1 = 6.407$$

Los números de Fourier $Fo'_1 = Fo''_1$ tienen el mismo valor debido a que tienen un mismo incremento de tiempo, lo mismo pasa con Fo'_2 y Fo''_2

Tenemos $\Delta t'_2 = \Delta t''_2$

$$Fo'_2 = Fo''_2 = \frac{\Delta t'_2 k_2}{\rho_2 C p_2 \Delta x_2^2} = \frac{0.074 * 0.21}{1410 * 1250 * (4x10^{-4})^2}$$

$$Fo'_2 = Fo''_2 = 5.5x10^{-2}$$

De la misma forma aplicaremos para Fo_A

$$Fo_A = \frac{\Delta t_A k_A}{\rho_A C p_A D^2} = \frac{0.074x2.63x10^{-2}}{1.1614x1007x(0.10)^2} = 1.664x10^{-4}$$

Finalmente para Fo_{H_2O}

$$Fo_{H_2O} = \frac{\Delta t_{H_2O} k_{H_2O}}{\rho_{H_2O} C p_{H_2O} D^2} = \frac{0.074x0.613}{997x4179x(0.10)^2} = 1.08x10^{-6}$$

Obtenido los valores, reemplazaremos en las ecuaciones (4.9, 4.12, 4.15, 4.18, 4.21, 4.24) y podemos hallar la temperatura nodal en cada punto, así podemos registrar la distribución de temperaturas del paquete.

$$T_1^{p+1} = \frac{6.407x(4x10^{-5})}{0.25} \left[\frac{200}{0.145} + \frac{T_2^p}{1.03x10^{-3}} \right] + \frac{6.407x(4x10^{-5})^2 T_1^p}{2x0.035(0.14 + 0.035)}$$

$$+ \left[1 - 6.407 \left\{ \frac{(4x10^{-5})^2}{2x0.035(0.14 + 0.035)} + \frac{4x10^{-5}}{0.25} \left(\frac{1}{1.03x10^{-3}} + \frac{1}{1.9} \right) \right\} \right] T_1^p$$

$$T_1^{p+1} = \frac{6.407x(4x10^{-5})}{0.25} \left[\frac{200}{0.145} + \frac{T_2^p}{1.03x10^{-3}} \right] + \frac{6.407x(4x10^{-5})^2 T_1^p}{2x0.035(0.14 + 0.035)}$$

$$+ \left[1 - 6.407 \left\{ \frac{(4x10^{-5})^2}{2x0.14(0.14 + 0.035)} + \frac{4x10^{-5}}{0.25} \left(\frac{1}{1.03x10^{-3}} + \frac{1}{1.9} \right) \right\} \right] T_1^p$$

$$T_1^{p+1} = 0.00102[1379.31 + 970.877T_2^p] + 8.36x10^{-7}T_1^p + [0.4759]T_1^p$$

De las ecuaciones

$$T_2^{p+1} = \frac{5.5 \times 10^{-2} \times (4 \times 10^{-4})}{0.21} \left[\frac{T_1^p}{1.03 \times 10^{-3}} + \frac{T_A^p}{1.9} \right] + \frac{(5.5 \times 10^{-2}) \times (4 \times 10^{-4})^2 T_2^p}{2 \times 0.035(0.035 + 0.14)}$$

$$+ \left[1 - 5.5 \times 10^{-2} \left\{ \frac{(4 \times 10^{-4})^2}{2 \times 0.035(0.035 + 0.14)} + \frac{4 \times 10^{-4}}{0.21} \left(\frac{1}{1.03 \times 10^{-3}} + \frac{1}{1.9} \right) \right\} \right] T_2^p$$

$$T_2^{n+1} = \frac{5.5 \times 10^{-2} \times (4 \times 10^{-4})}{0.21} \left[\frac{T_1^n}{1.03 \times 10^{-3}} + \frac{T_{H_2O}^p}{0.083} \right] + \frac{(5.5 \times 10^{-2}) \times (4 \times 10^{-4})^2 T_2^n}{2 \times 0.14(0.035 + 0.14)}$$

$$+ \left[1 - 5.5 \times 10^{-2} \left\{ \frac{(4 \times 10^{-4})^2}{2 \times 0.125(0.05 + 0.125)} + \frac{4 \times 10^{-4}}{0.21} \left(\frac{1}{1.03 \times 10^{-3}} + \frac{1}{0.083} \right) \right\} \right] T_2^n$$

Temperaturas nodales en los puntos de contenedor y contenido.

$$T_A^{p+1} = \frac{1.664 \times 10^{-4} \times 0.1}{2.63 \times 10^{-2}} \left[\frac{4T_2^p}{1.9} + \frac{T_{H_2O}^p \cdot 0.1}{2 \times 1.56 \times 0.035} \right]$$

$$+ \left\{ 1 - \left[\frac{1.664 \times 10^{-4} \times 0.1}{2.63 \times 10^{-2}} \left(\frac{4}{1.9} + \frac{D}{2 \times 1.56} \right) \right] \right\} T_A^p$$

$$T_{H_2O}^{p+1} = \frac{1.08 \times 10^{-6} \times 0.1}{0.613} \left[\frac{4T_2^p}{0.083} + \frac{T_A^p \cdot 0.1}{2 \times 1.56 \times 0.14} \right]$$

$$+ \left\{ 1 - \left[\frac{1.08 \times 10^{-6} \times 0.1}{0.613} \left(\frac{4}{1.9} + \frac{0.1}{2 \times 1.08 \times 10^{-6} \times 0.14} \right) \right] \right\} T_{H_2O}^p$$

De las ecuaciones reduciendo términos.

$$T_1^{p+1} = 0.00102 [1379.31 + 970.87 T_2^p] + 8.36 \times 10^{-7} T_1^p + [0.476] T_1^p$$

$$T_1^{p+1} = 0.00102[1379.31 + 970.877T_2^p] + 8.36 \times 10^{-7}T_1^p + [0.4759]T_1^p$$

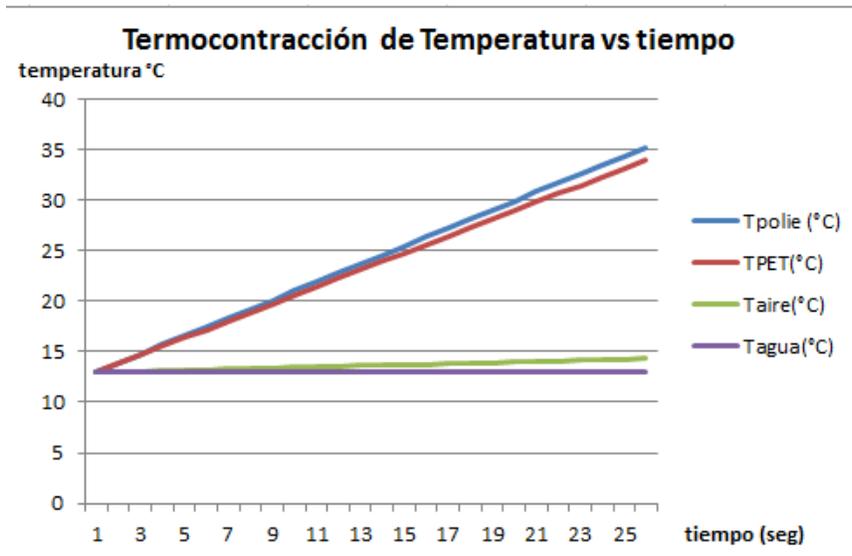
Podemos observar que al reducir las ecuaciones las temperaturas nodales T_1^{p+1} y T_2^{p+1} se aproximan en su valor.

De la misma forma se puede considerar que la película termocontraible es un promedio de las temperaturas nodales T_1^{p+1} y T_2^{p+1}

$$T_{Polietil}^p = \frac{T_1^p + T_1^p}{2}$$

$$T_{Botella}^p = \frac{T_2^p + T_2^p}{2}$$

Figura 4.4
Distribución de Temperatura de Carga Respecto de Tiempo de Carga



Fuente: Grafico realizado a partir de los valores calculados de la temperatura respecto de tiempo

En el grafico podemos determinar cómo es el comportamiento de cada elemento de la carga. Del mismo se obtiene las temperaturas finales o de salida de todos los elementos que conforman la carga.

$$T_{Pelicula\ sal} = 70.01^{\circ}C$$

$$T_{Botella\ sal} = 64.14^{\circ}C$$

$$T_{Aire\ sal} = 20.10^{\circ}C$$

$$T_{agua\ sal} = 13.098^{\circ}C$$

Teniendo todos los datos necesarios podemos remplazar y calcular las cargas requeridas por cada componente del paquete.

$$q_1 = \dot{m}_1 C_p (T_{ent} - T_{sal})$$

$$Q_{PEAD} = 8.12 \times 10^{-3} \left(\frac{Kg}{s} \right) \times 1900 \left(\frac{J}{Kg^{\circ}K} \right) \times (70.01^{\circ}C - 13^{\circ}C) = 879.62\ W$$

$$Q_{Botella} = 121.38 \times 10^{-3} \left(\frac{Kg}{s} \right) \times 1250 \left(\frac{J}{Kg^{\circ}K} \right) \times (64.14^{\circ}C - 13^{\circ}C) = 7759.73\ W$$

$$Q_{Aire} = 192 \times 10^{-3} \left(\frac{Kg}{s} \right) \times 1007 \left(\frac{J}{Kg^{\circ}K} \right) \times (20.106^{\circ}C - 13^{\circ}C) = 1374.09\ W$$

$$Q_{Agua} = 4 \left(\frac{Kg}{s} \right) \times 4179 \left(\frac{J}{Kg^{\circ}K} \right) \times (13.098^{\circ}C - 13^{\circ}C) = 1641.11\ W$$

Sumamos las cargas totales para saber la Q total.

$$Q_{Carga} = 879.62 + 7759.73 + 1374.09 + 1641.11\ W$$

$$Q_{carga} = 11654.56 \text{ W} = 11.65 \text{ KW}$$

4.4 Cálculo de pérdidas de calor en el túnel

Como toda máquina térmica tiende a tener pérdidas de calor por el mismo proceso que realiza, en el caso del túnel tiende a perder en:

- a. Pérdidas de calor en paredes (pérdidas en paredes laterales y superior).
- b. Pérdidas de calor en cadena transportadora (pared inferior).
- c. Pérdidas de calor a la entrada y salida de túnel.

La cámara de calor del túnel debe estar debidamente aislada para minimizar y evitar pérdidas de calor, las pérdidas se dan por conducción y para calcular tenemos que considerar lo siguiente:

Las condiciones de trabajo tienen propiedades constantes por lo cual se considera que es un sistema de estado estable.

En el proceso no existe generación de energía.

Las paredes son un conjunto de materiales por lo cual podemos considerar que la conducción es unidimensional.

Cada capa de la pared es homogénea con propiedades constantes.

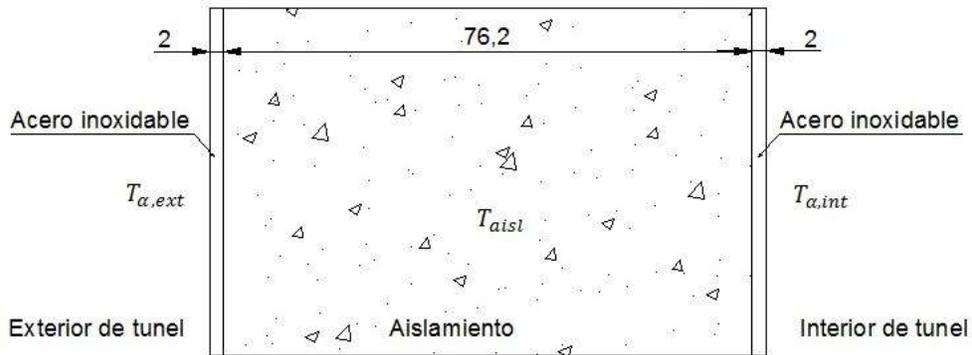
La transferencia de calor por radiación es insignificante, por lo cual la consideraremos despreciable.

4.4.1 Pérdidas de calor en paredes (paredes laterales y superior)

Nuestra pared está conformada por planchas de acero inoxidable AISI 304 de 2mm de espesor tanto en la parte interna como externa además tiene un aislamiento térmico entre las planchas

con un espesor de 3" o 76.2mm. La temperatura del exterior del túnel ($T_{a,ext}$) será 13°C temperatura ambiente media anual.

Figura 4.5
Pared Compuesta de Túnel de Termocontraído



Nota: Pared Compuesta De Túnel Esta Se Mantiene Igual En Todas Las Paredes Del Túnel

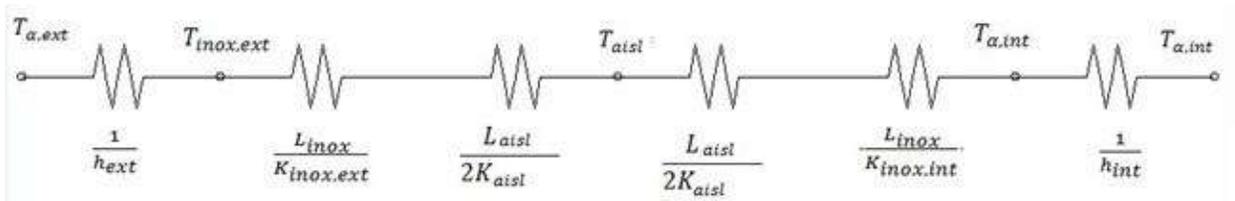
Para realizar los cálculos aplicaremos el principio de conservación de energía.

$$E_{ingresa} = E_{saliente}$$

Pared Compuesta

Construimos el circuito térmico conociendo la transferencia por conducción, considerando que conocemos los valores $T_{a,int}$ y $T_{a,ext}$ entonces el circuito equivalente de la pared compuesta.

Figura 4.6
Circuito Térmico de la Pared Compuesta



Nota: Circuito Térmico Correspondiente Al Equivalente De Pared Compuesta

El calor equivalente encada pared es como sigue

$$Q''_{Pared 1} = \frac{T_{\alpha,int} - T_{inox,ext}}{\frac{1}{h_{int}} + \frac{L_{inox}}{K_{inox,int}} + \frac{L_{aisl}}{K_{aisl}} + \frac{L_{inox}}{K_{inox,ext}}} = \frac{T_{inox,ext} - T_{\alpha,ext}}{\frac{1}{h_{ext}}} \quad (4.37)$$

$$Q''_{Pared 2} = \frac{T_{inox,int} - T_{\alpha,ext}}{\frac{L_{inox}}{K_{inox,int}} + \frac{L_{aisl}}{K_{aisl}} + \frac{L_{inox}}{K_{inox,ext}} + \frac{1}{h_{ext}}} = \frac{T_{\alpha,int} - T_{inox,int}}{\frac{1}{h_{int}}} \quad (4.38)$$

$$Q''_{Pared 3} = \frac{T_{aisl} - T_{\alpha,ext}}{\frac{L_{aisl}}{2K_{aisl}} + \frac{L_{inox}}{K_{inox,ext}} + \frac{1}{h_{ext}}} = \frac{T_{\alpha,int} - T_{aisl}}{\frac{1}{h_{int}} + \frac{L_{inox}}{K_{inox,int}} + \frac{L_{aisl}}{2K_{aisl}}} \quad (4.39)$$

Conocemos los espesores de las planchas utilizadas y también las temperaturas externa e interna de trabajo.

$$L_{inox} = 2mm = 2 \times 10^{-3}m$$

$$L_{inox} = 76.2mm = 76.2 \times 10^{-3}m$$

$$T_{\alpha,ext} = 13^{\circ}C = 286.15^{\circ}K$$

$$T_{\alpha,int} = 200^{\circ}C = 473.15^{\circ}K$$

Asumiremos las temperaturas de las capas que componen la pared del horno luego realizaremos las correcciones con las propiedades que dependen de las temperaturas las cuales asumimos.

$$T_{inox,ext} = 45^{\circ}C$$

$$T_{inox,int} = 180^{\circ}C$$

$$T_{aisl} = \frac{T_{\alpha,ext} + T_{inox,int}}{2} = \frac{13 + 200}{2} = 106.5^{\circ}C = 379.15^{\circ}K$$

Ahora vamos al apéndice F con los datos de las temperaturas dadas, obtenemos valores de conductividad de acero AISI 304 y aislamiento del apéndice H.

$$K_{inox,int} = 17.80 \frac{W}{m^{\circ}K} \text{ a } 473.15^{\circ}K$$

$$K_{inox,ext} = 14.32 \frac{W}{m^{\circ}K} \text{ a } 286.15^{\circ}K$$

$$K_{aislamiento} = 15.4 \frac{W}{m^{\circ}K} \text{ a } 379.15^{\circ}K$$

$$T_{f,int} = \frac{T_{inox,int} + T_{\alpha,int}}{2} = \frac{200 + 180}{2} = 190^{\circ}C \text{ (463.15 }^{\circ}K)$$

$$T_{f,ext} = \frac{T_{inox,ext} + T_{\alpha,ext}}{2} = \frac{13 + 45}{2} = 29^{\circ}C \text{ (302.15 }^{\circ}K)$$

Tabla 4.3
Propiedad del Aire en el entorno de las Paredes

Temperatura °K	u* 10⁻⁶ (m2/s)	K *10⁻³ (W/m °K)	Pr
250	11.44	22.3	0.72
286	14.644	25.18	0.71064
300	15.89	26.3	0.707
400	26.41	33.8	0.69
453	32.9714	37.457	0.68682
500	38.79	40.7	0.684

Nota: Extraemos Las Propiedades Del Aire Circundante A Las Paredes Estos Datos Las Interpolamos Para Poder Obtener Valores Para Cada Temperatura Requeridas Para Nuestros Cálculos.

$$Ra_L = \frac{g(T_{inox} - T_\alpha)L^3 Pr}{T_f \nu^2} \quad (4.40)$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

L = 0.4m alto de la plancha

$$\overline{Nu}_L = \left(0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right)^2 \quad (4.41)$$

$$\bar{h} = \frac{\overline{Nu}_L k}{L} \quad (4.42)$$

Calculamos el coeficiente convectivo interior y exterior de la pared de las ecuaciones (4.40, 4.41 y 4.42)

Pared de acero en el interior del túnel

$$Ra_L = \frac{9.81 \text{ m/s}^2 (200 - 180^\circ\text{C}) * (0.4\text{m})^3 0.6868}{463.15 \text{ }^\circ\text{K} * (32.9714 * 10^{-6})^2} = 1.71 * 10^7$$

$$\overline{Nu}_L = \left(0.825 + \frac{0.387 * (1.71 * 10^7)^{1/6}}{[1 + (0.492/0.68682)^{9/16}]^{8/27}} \right)^2 = 36.23$$

$$\bar{h} = \frac{36.23 * (37.45 * 10^{-3}) \text{ W/m }^\circ\text{K}}{0.4\text{m}} = 3.39 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{K}$$

Pared de acero en el exterior del túnel

$$Ra_L = \frac{9.81 \text{ m/s}^2 (45 - 13^\circ\text{C}) * (0.4\text{m})^3 0.710}{302.15 \text{ }^\circ\text{K} * (14.644 * 10^{-6})^2} = 2.20 * 10^8$$

$$\overline{Nu}_L = \left(0.825 + \frac{0.387 * (2.20 * 10^8)^{1/6}}{[1 + (0.492/0.710)^{9/16}]^{8/27}} \right)^2 = 77.41$$

$$\bar{h} = \frac{77.41 * (25.18 * 10^{-3}) W/m^{\circ}K}{0.4m} = 4.87 W/m^2{}^{\circ}K$$

Ahora determinamos las temperaturas de cada componente de la pared, usamos las ecuaciones (4.37, 4.38 y 4.39)

$$\frac{200 - T_{inox,ext}}{\frac{1}{3.39 W/m^2{}^{\circ}K} + \frac{2 * 10^{-3}m}{17.80 \frac{W}{m^{\circ}K}} + \frac{76.2x10^{-3}m}{0.0648 \frac{W}{m^{\circ}K}} + \frac{2 * 10^{-3}m}{14.32 \frac{W}{m^{\circ}K}}} = \frac{T_{inox,ext} - 13}{4.87 W/m^2{}^{\circ}K}$$

$$\frac{T_{inox,int} - 13}{\frac{2 * 10^{-3}m}{17.80 \frac{W}{m^{\circ}K}} + \frac{76.2x10^{-3}m}{0.0648 \frac{W}{m^{\circ}K}} + \frac{2 * 10^{-3}m}{14.32 \frac{W}{m^{\circ}K}} + \frac{1}{4.87 W/m^2{}^{\circ}K}} = \frac{200 - T_{inox,int}}{3.39 W/m^2{}^{\circ}K}$$

$$\frac{T_{aisl} - 13}{\frac{76.2x10^{-3}m}{2x0.065 \frac{W}{m^{\circ}K}} + \frac{2x10^{-3}m}{14.32 \frac{W}{m^{\circ}K}} + \frac{1}{4.87 W/m^2{}^{\circ}K}} = \frac{200 - T_{aisl}}{\frac{1}{3.39 W/m^2{}^{\circ}K} + \frac{2x10^{-3}m}{17.80 \frac{W}{m^{\circ}K}} + \frac{76.2x10^{-3}m}{2x0.065 \frac{W}{m^{\circ}K}}}$$

$$T_{inox,ext} = 35.91^{\circ}C$$

$$T_{inox,int} = 167.07^{\circ}C$$

$$T_{aislante} = 101.49^{\circ}C$$

Las temperaturas asumidas fueron las correctas.

Halladas las temperaturas, calculamos el calor que se pierde por las paredes.

$$Q''_{Pared} = \frac{T_{\alpha,int} - T_{inox,int}}{\frac{1}{h_{int}}} = \frac{200 - 167.07}{\frac{1}{3.39}} = 111.63 W/m^2$$

$$Q_{Pared} = Area \times Q''_{Pared} = 0.4m \times 1.80m \times 111.63 W/m^2$$

$$Q_{Pared} = 80.38 W$$

Pared superior

Usaremos el mismo procedimiento el cual hicimos para la pared, así mismo el circuito térmico equivalente es la misma que la de la pared (figura 4.6)

$$l = \frac{A_s}{P} \quad (4.43)$$

Dónde:

l : Longitud característica equivalente

A_s : Superficie de techo

P : Perímetro de techo

$$\overline{Nu}_L = 0.54Ra_L^{1/4} \quad (4.44)$$

$$\bar{h} = \frac{\overline{Nu}_L k}{l} \quad (4.45)$$

Asumiremos los mismos valores que las temperaturas de la pared del túnel.

$$T_{inox,int} = 180^\circ C$$

$$T_{inox,ext} = 45^\circ C$$

$$T_{f,int} = \frac{T_{inox,int} + T_{\alpha,int}}{2} = \frac{200 + 180}{2} = 190^\circ C (463.15^\circ K)$$

$$T_{f,ext} = \frac{T_{inox,ext} + T_{\alpha,ext}}{2} = \frac{45 + 13}{2} = 29^\circ C (302.15^\circ K)$$

Como tomamos los mismos valores las propiedades de conductividad de las capas de la pared son también las mismas así como el aire circundante.

Interior del túnel

$$l = \frac{0.4m \times 1.8m}{2 \times (0.4 + 1.8)m} = 0.163m$$

$$Ra_L = \frac{9.81 \text{ m/s}^2 (200 - 180^\circ\text{C}) * (0.163m)^3 0.6868}{463.15 \text{ }^\circ\text{K} * (32.9714 * 10^{-6})^2} = 1.185 * 10^6$$

$$\overline{Nu}_L = 0.54 \times (1.185 \times 10^6)^{1/4} = 17.82$$

$$\bar{h} = \frac{17.82 * (37.45 * 10^{-3}) \text{ W/m } ^\circ\text{K}}{0.163m} = 4.078 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{K}$$

Exterior del túnel

Para una longitud característica de 1.8 m es la misma distancia que la de interior entonces: con las ecuaciones (4.40, 4.41, 4.42)

$$l = 0.163m$$

$$Ra_L = \frac{9.81 \text{ m/s}^2 (45 - 13^\circ\text{C}) * (0.163m)^3 0.7106}{302.15 \text{ }^\circ\text{K} * (14.644 * 10^{-6})^2} = 1.5 * 10^7$$

$$\overline{Nu}_L = 0.54 \times (1.508 \times 10^6)^{1/4} = 33.65$$

$$\bar{h} = \frac{33.65 * (25.18 * 10^{-3}) \text{ W/m } ^\circ\text{K}}{0.163m} = 5.178 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{K}$$

Ahora determinamos las temperaturas de cada componente del techo, usamos las ecuaciones (4.37, 4.38, 4.39).

$$\frac{200 - T_{inox,ext}}{\frac{1}{4.078 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{K}} + \frac{2 * 10^{-3}m}{17.80 \frac{W}{m^\circ K}} + \frac{76.2 \times 10^{-3}m}{0.0648 \frac{W}{m^\circ K}} + \frac{2 * 10^{-3}m}{14.32 \frac{W}{m^\circ K}}} = \frac{T_{inox,ext} - 13}{\frac{1}{5.178 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{K}}}$$

$$\frac{T_{inox,int} - 13}{\frac{2 * 10^{-3}m}{17.80 \frac{W}{m^{\circ}K}} + \frac{76.2x10^{-3}m}{0.0648 \frac{W}{m^{\circ}K}} + \frac{2 * 10^{-3}m}{14.32 \frac{W}{m^{\circ}K}} + \frac{1}{5.178 W/m^2^{\circ}K}} = \frac{200 - T_{inox,int}}{4.078 W/m^2^{\circ}K}$$

$$\frac{T_{aisl} - 13}{\frac{76.2x10^{-3}m}{2x0.065 \frac{W}{m^{\circ}K}} + \frac{2x10^{-3}m}{14.32 \frac{W}{m^{\circ}K}} + \frac{1}{5.178 W/m^2^{\circ}K}}$$

$$= \frac{200 - T_{aisl}}{\frac{1}{4.078 W/m^2^{\circ}K} + \frac{2x10^{-3}m}{17.80 \frac{W}{m^{\circ}K}} + \frac{76.2x10^{-3}m}{2x0.065 \frac{W}{m^{\circ}K}}}$$

$$T_{inox,ext} = 35.91 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{inox,int} = 171.57 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{aislante} = 103.47 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Halladas las temperaturas, calculamos el calor que se pierde por la pared superior techo.

$$Q''_{pared sup} = \frac{T_{\alpha,int} - T_{inox,int}}{\frac{1}{h_{int}}} = \frac{200 - 171.57}{\frac{1}{4.078}} = 115.90 W/m^2$$

$$Q_{pared sup} = Area \times Q''_{techo} = 0.4m \times 1.80m \times 115.90 W/m^2$$

$$Q_{pared sup} = 80.45 W$$

4.4.2 Pérdidas de calor en cadena transportadora (pared inferior).

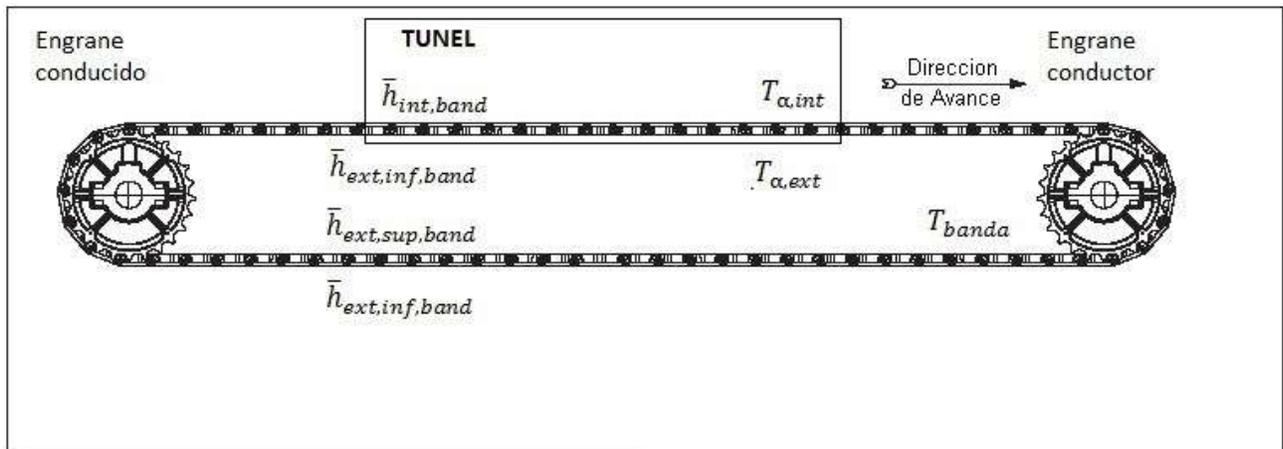
La cadena al estar en constante movimiento nunca llega al equilibrio como lo hace las paredes del túnel debido a que la cadena está en movimiento entra y sale del horno al estar fuera de esta la cadena baja su temperatura lo que quiere decir es que pierde calor volviendo a su estado energético inicial, de esta forma almacena energía y luego la entrega al ambiente.

La variación de energía que genera al entrar y salir de la cadena es mínima por la cual asumiremos condiciones similares al techo y que la temperatura es igual en todo el largo de la cadena entonces igualaremos con la ecuación de transferencia de calor por convección.

Entonces deberá cumplir que.

$$Q''_{\text{dentro tunel}} = Q''_{\text{fuera tunel}} \quad (4.46)$$

Distribución De Temperaturas En La Cadena Transportadora



Nota: Esquema grafica de la cadena trasportadora, el piñón gira en forma horaria

$$(2\bar{h}_{ext,inf,band} + \bar{h}_{ext,sup,band})(T_{\alpha,ext} - T_{banda}) = \bar{h}_{int,band}(T_{\alpha,int} - T_{banda}) \quad (4.47)$$

Dónde:

La ecuación anterior cabe mencionar que durante el transporte de la cadena, esta lleva la carga (el paquete) todas las áreas superiores reciben calor dentro del túnel mientras que la cara inferior es menor el calor que llega a esta, teniendo esta consideración solo la cara superior de la cadena conducido recibe calor, mientras que las superficies inferior del conducido y las dos caras de la cadena de retorno reciben el calor restante así podemos ver como en la figura podemos distinguir las siguientes igualdades.

La temperatura en la banda $T_{banda} = 80^{\circ}C$ esta temperatura es la promedio a lo largo de toda la cadena.

$$T_{f,ext} = \frac{T_{\alpha,ext} + T_{banda}}{2} = \frac{13 + 80}{2} = 46.5^{\circ}C = 319.65(^{\circ}K)$$

$$T_{f,int} = \frac{T_{\alpha,int} + T_{banda}}{2} = \frac{200 + 80}{2} = 140^{\circ}C = 413.15(^{\circ}K)$$

Nuestras temperaturas son similares a las de las paredes, por lo tanto usaremos las propiedades de la tabla 4. Para el cálculo de los coeficientes convectivos usaremos las ecuaciones (4.40, 4.41 y 4.42).

$$l = \frac{A_s}{P} = \frac{\text{ancho} \times \text{largo}}{2(\text{ancho} + \text{largo})} \quad (4.48)$$

Para los cálculos consideraremos las dimensiones totales del túnel, porque esas son las distancias donde se produce la transferencia de energía

Dónde:

$$\text{ancho} = 450 \text{ mm} = 0.45 \text{ m}$$

$$l = \frac{0.45 \times 1.80}{2(0.45 + 1.80)} = 0.18 \text{ m}$$

$$Ra_L = \frac{9.81 \text{ m/s}^2 (200 - 80^{\circ}C) * (0.180 \text{ m})^3 0.692}{413.15^{\circ}K * (28.52 * 10^{-6})^2} = 1.41 * 10^7$$

Hallamos el coeficiente de convección (h) de ecuación 4.32

$$\overline{Nu}_L = 0.27 \times (1.41 * 10^7)^{1/4} = 16.545$$

$$\bar{h}_{int,band} = \frac{16.545 * (28.52 * 10^{-3}) \text{ W/m}^{\circ}K}{0.180 \text{ m}} = 2.62 \text{ W/m}^2 \text{ } ^{\circ}K$$

Los mismos cálculos realizaremos a las superficies exteriores al horno donde cambia la temperatura T_α , lo cual también cambian los parámetros termodinámicos.

$$Ra_L = \frac{9.81 \text{ m/s}^2 (80 - 13^\circ\text{C}) * (0.180 \text{ m})^3 0.703}{319.65 \text{ }^\circ\text{K} * (27.77 * 10^{-6})^2} = 2.6168 * 10^7$$

Para calcular $\bar{h}_{ext,inf,band}$ y $\bar{h}_{ext,sup,band}$ las ecuaciones de \overline{Nu}_L son diferentes; usaremos las ecuaciones.

$$\overline{Nu}_L = 0.27x(2.6168 * 10^7)^{1/4} = 19.31$$

$$\bar{h}_{ext,inf,band} = \frac{19.31 * (27.77 * 10^{-3}) \text{ W/m } ^\circ\text{K}}{0.180\text{m}} = 2.979 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{K}$$

$$\overline{Nu}_L = 0.54x(2.6168 * 10^7)^{1/4} = 38.62$$

$$\bar{h}_{ext,sup,band} = \frac{38.62 * (27.77 * 10^{-3}) \text{ W/m } ^\circ\text{K}}{0.180\text{m}} = 5.959 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{K}$$

Ahora reemplazamos los valores en la ecuación 50 y obtenemos la temperatura de salida de la cadena (T_{banda})

$$(2x2.979 + 5.959)(T_{banda} - 13) = 5.24(200 - T_{banda})$$

$$T_{banda} = 70.11 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ahora obtenemos el calor perdido en la cadena

$$Q'' = 2.62 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{K}x(200 - 70.11 \text{ }^\circ\text{C}) = 340.52 \text{ W/m}^2$$

$$Q = (\text{Ancho} \times \text{largo}) \times Q'' = 0.45\text{m} \times 1.80\text{m} \times 681.05 \text{ W/m}^2 = 275.82 \text{ W}$$

4.4.3 Pérdidas de calor a la entrada y salida de túnel

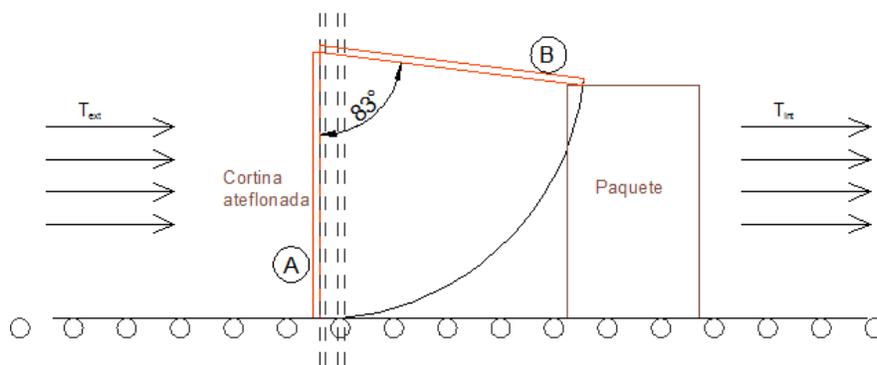
Al ingreso y salida del túnel esta aisladas por cortinas ateflonadas, esto para evitar la fuga de calor, pero en el proceso de ingreso y salida del paquete existe una pérdida volumétrica de calor para calcular tenemos que tener en cuenta lo siguiente:

No existe generación energía

La presión atmosférica es igual al interior como el exterior del túnel, por lo tanto no existe una variación de presión.

Al ingresar el paquete la cortina se desplaza hacia el interior, luego de ingresar en su totalidad la cortina regresa a la posición anterior formando de esta manera un volumen de perdida como se muestra a continuación.

Figura 4.7
Desplazamiento de Cortina Térmica



Nota: La Cortina Ateflonada Impide el Exceso de Pérdida de Calor Dentro del Túnel

Al desplazarse la cortina del punto A al punto B como se muestra en la figura anterior, esta genera un volumen de forma de trapezoidal, este volumen equivale a la perdida de calor en función del volumen total dentro del túnel. Y podemos calcular de la siguiente manera.

Volumen formado por el ángulo de inclinación del teflón.

$$V_{form} = A_{arco} * H_{paquete} \quad (4.49)$$

Dónde:

A_{arco} : Área de arco (m^2)

$H_{paquete}$: Ancho de paquete (m)

$$V_{form} = \frac{\pi * m^2 * \emptyset}{360} * H_{paquete} = \frac{\pi * 0.40^2 * 83}{360} * 0.30$$

$$V_{form} = 0.0347 \text{ m}^3$$

Para hallar el flujo volumétrico tenemos que considerar la producción del sistema

$$\dot{V} = 0.0347 \frac{\text{m}^3}{\text{paquete}} * 20 \frac{\text{paquete}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 0.0115 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

La cantidad de calor que se pierde al ingreso y salida del túnel, teniendo en cuenta que la temperatura ambiental es de 13 °C en promedio y que el interior está 200°C.

$$Q = \dot{V} * (\rho_{ext} - \rho_{int}) * C_p * (T_{int} - T_{ext}) \quad (4.50)$$

$$Q = 0.0115 * (1.1614 - 0.8972) * 1007 * (200 - 13)$$

$$Q = 572 \text{ W} = 0.572 \text{ KW}$$

4.5 Calor total requerido por el túnel

Al tener todas las pérdidas de calor en el túnel, procedemos a calcular el total de calor que se necesita para poder realizar la termocontracción en el file del paquete para lo cual realizamos los siguiente.

$$Q_{total} = Q_{carga} + Q_{perdidas} \quad (4.51)$$

$$Q_{total} = Q_{carga} + (Q_{pared} + Q_{techo} + Q_{cadena}) = 11650 + 80.38 + 81.45 + 275.82 + 572$$

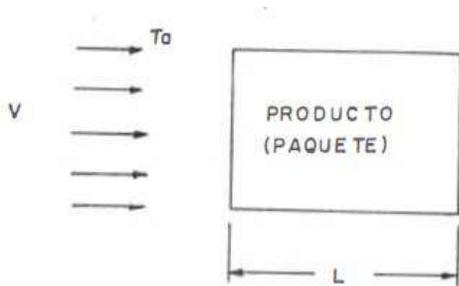
$$Q_{total} = 12659.65 \text{ W} = 12.65 \text{ KW}$$

Velocidad y temperatura del aire inyectado

Se requiere transmitir calor por convección hacia el paquete, el paquete simula una forma de paralelepípedo, que al ingresar hacia el túnel el aire caliente ingresara principalmente por los laterales, pues en esta zona el file está libre aun sin estar adherido al paquete y por lo tanto requiere una mayor cantidad de flujo.

Usaremos caso transferencias de calor en flujo externo

Figura 4.8
Transferencias De Calor De Flujo Externo



Nota: el aire caliente envuelve en su totalidad ala paquete, por todas sus áreas, la velocidad de transporte se mantiene constante.

$$Nu = \frac{h * L}{K} = 0.092 * Pr^{1/3} * Re^{0.675} \quad (4.52)$$

Dónde:

Pr : Número de Prandt

Re : Número de Reynolds de 5000 a 100000

K : Conductividad térmica del aire (W/m-°K)

H : Coeficiente de transferencia de calor para convección (W/m² - °K)

L : Ancho de paquete 300 mm

U : Viscosidad cinemática del aire m²/s

Sabemos que:

$$R_e = \frac{V * L}{U} \quad (4.53)$$

De la ecuación

$$h = \frac{K}{L} * 0.092 * Pr^{1/3} * \left(\frac{V * L}{U}\right)^{0.675} \quad (4.54)$$

Reemplazando L = 0.3m

$$h = 0.1361 * K * Pr^{1/3} * \left(\frac{V}{U}\right)^{0.675}$$

Tenemos parámetros para cálculo

$$Q_c = h * A * \Delta T = 0.619 \text{ Kw}$$

$$h = \frac{0.619 \text{ Kw}}{A * \Delta T}$$

Dónde:

A : Área del paquete E=0.65 m²

ΔT : Variación de temperatura $\Delta T = T_{aire} - T_i$

T_{aire} : Temperatura de aire

T_i : Temperatura inicial =13 °C

Luego tenemos que

$$h = \frac{619 \text{ w}}{0.65 * (T_{\text{aire}} - T_i)} = \frac{1000 \text{ w}}{(T_{\text{aire}} - 13^\circ\text{C})}$$

Ahora evaluamos valores de la temperatura de la película aun temperatura final de retracción T_f .

$$T_f = \frac{T_{\text{aire}} + T_i}{2}$$

Realizamos varias iteraciones y hallamos la velocidad y temperatura a la que trabaja en el interior de la cámara.

$$T_{\text{aire}} = 181.15^\circ\text{C} = 180^\circ\text{C}$$

Reemplazamos en la ecuación 4.53 tenemos.

$$V = 2.76 \text{ m/s}$$

CAPÍTULO V

5 CÁLCULO Y DISEÑO MECÁNICO PARA TÚNEL DE TERMOCONTRAIDO

5.1 Cálculo y dimensionamiento de túnel

Para poder dimensionar el túnel de termocontraido, necesitamos fijar las medidas de la carga, unidad de botellas que contiene el paquete; el flujo requerido tiene que ser igual al flujo de producción de la planta, debemos tener en cuenta el espacio considerado para el equipo, la maquina debe ser compacta, ergonómica, maniobrable de fácil mantenimiento, seguro, entre otros características, considerando estas características tenemos las dimensiones del paquete Ancho 300mm, Largo 200mm, Alto 350mm. Con estas medidas podemos determinar las dimensiones de la entrada y salida del túnel.

5.2 Calculo de elementos de la banda transportadora.

Para el diseño del sistema transportador o cadena transportadora, tanto el bastidor como las planchas son de acero inoxidable, el bastidor sirve de soporte a la cadena de transportación, y las planchas cubren la máquina incluyendo el túnel térmico además que brindar una mayor rigidez, la cadena transportadora está compuesta por: Cadenas guía con aletas, rodillos, piñones, chumaceras, cadena de potencia, entre otros elementos.

5.2.1 Cálculo y selección de cadena transportadora

Para el transporte de los paquetes utilizaremos una cadena de rodillos con pernos extendidos la cual la cadena lleva rodillos para transportar la carga, estos son de material acero inoxidable con una composición austenitica la cual puede trabajar a altas temperaturas soporta además corrosión cargas estáticas y magnéticas.

Para selección requeriremos de lo siguiente:

La potencia de transporte (P). (Shiguey & Mitchell, 1990)

$$P = c * f * l(q_g * v + Q_m * g) \quad (5.1)$$

Dónde:

P: potencia motriz para transporte de carga

f: Coeficiente de fricción (Apéndice K)

c: Coeficiente de pérdidas por rozamiento (fricción de cadenas, chumaceras, cojinetes, etc.) este depende de la longitud de transportador.(Apéndice J)

l : Longitud de transportador

v : Velocidad de cadena transportadora

q_g : Peso de la cadena por metro transportado.

Q_m : Flujo de masa ($\dot{m}_{paquete}$)

g : Aceleración de la gravedad $9.81 (m/s^2)$

Lo que requiere nuestro diseño tiene un flujo másico de $\dot{m}_{paquete} = 4.1314 (Kg/s)$, una velocidad de faja ($v=10 m/min$) y longitud de faja de 2.8 (m) la capacidad máxima será.

$$m_{paquete} = \dot{m}_{paquete} * t = 4.1314 \left(\frac{kg}{s} \right) * \frac{2.8 m}{10 \frac{m}{min} * 1 min/60s}$$

$$m_{paquete} = 69.41 kg$$

Carga que ejerce la banda de rodillos.

Usaremos rodillos de aleación de aluminio, es un material bastante ligero tienen superficies con bajo nivel de rugosidad, soportan altas temperaturas y son comerciales; usaremos los de medidas comerciales de esta forma proponemos las siguientes dimensiones. $\varnothing_{externo} = 18 \text{ mm} = 1.8 \text{ cm}$, espesor $e = 3 \text{ mm}$, longitud de rodillo $L_{rod} = 400 \text{ mm} = 40 \text{ cm}$; un espaciamiento entre rodillos, $s = 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm}$; $\rho_{inox} = 2700 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

$$m_{rodillo} = V * \rho_{Al} \quad (5.2)$$

$$m_{rodillo} = (\pi * \varnothing * e * L_{rod}) * \rho_{Al} = (\pi * 0.018 * 0.003 * 0.4)2700$$

$$m_{rodillo} = 0.1832 \text{ kg}$$

La cantidad de rodillos será:

$$N_{rodillo} = \frac{L_{rod}}{\varnothing + s} \quad (5.3)$$

$$N_{rodillo} = \frac{2.8 * 2}{0.018 + 0.020} = 147.368 = 148$$

Peso total de los rodillos

$$W_{rodillo} = N_{rodillo} * m_{rodillo} * g = 148 * 0.1832 * 9.81$$

$$W_{rodillo} = 266.002 \text{ N}$$

La cadena transportadora tiene una longitud aproximada total de 5.6m; entonces el peso de la banda por metro de transporte.

$$q_{cinta} = \frac{266.002}{5.6}$$

$$q_{cinta} = 47.50 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Peso de cadena

La cadena transportadora genera un peso, considerando que se trata de aleación de aluminio asumiremos un peso 0.8 kg/m tenemos lo siguiente.

$$q_{cadena} = \frac{0.8 \text{ kg}}{m} \times \frac{9.81 \text{ m}}{s^2} = 7.848 \text{ N/m}$$

$$q_g = 2 * (7.848) + 47.50 = 63.1964 \text{ N/m}$$

Longitud de transportador 2.80 m

Tomamos del apéndice J la constante de fricción $c = 9$

Tomamos del apéndice K el factor de fricción $f = 0.27$

Reemplazamos en la ecuación (5.1) y hallamos la potencia de transporte

$$P = c * f * l(q_g * v + Q_m * g) = 9 * 0.27 * 2.80 * (63.1964 * \frac{10}{60} + 4.1314 * 9.81)$$

$$P = 347.4256 \text{ w}$$

Tomamos del apéndice L el factor de servicio para transporte de carga uniforme para servicio normal es 1.0; la potencia es la misma.

La potencia corregida P_c .

$$P_c = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5 \times P \quad (5.4)$$

Coefficiente K_1

Obtendremos de la siguiente expresión:

$K_1 = 19/Z_1$, Es recomendable utilizar un numero de dientes igual a 19 si es mayor a esta el sistema trabaja de una forma más uniforme minimizando fricción por esta razón Consideraremos un $K_1 = 25$ *dientes*

$$K_1 = \frac{19}{25} = 0.76$$

Es posible también obtener el valor del coeficiente según anexo, con los datos de número de dientes del piñón.

Valor de coeficiente K_2

Para el coeficiente de multiplicidad es necesario saber cuántas cadenas se usan en la transmisión, en nuestro diseño estamos considerando usar una cadena simple, según anexo este equivale a un.

$$K_2 = 1$$

Valor de coeficiente K_3

Para determinar este coeficiente necesitamos saber el número de eslabones o enlaces conformados por la cadena de transmisión. En este caso realizaremos iteraciones, para el cálculo por lo que supondremos tener una cadena que cuenta con 120 eslabones, entrando con el anexo tenemos.

$$K_3 = 1$$

Coeficiente K_4

Coeficiente de factor de servicio de tabla según apéndice L

Motor eléctrico, carga media

$$K_4 = 1.3$$

Coeficiente K_5

Coeficiente de duración en función de la vida útil prevista para la cadena, consideraremos una duración de 15000 horas y según tabla

$$K_5 = 1$$

Sustituyendo en la ecuación (5.4) obtenemos la potencia corregida

$$P_c = 0.76 * 1 * 1 * 1.3 * 1 * 272.72 = 343.256 \text{ w}$$

$$P_c = 0.343 \text{ Kw}$$

Mayor tensión soportada por la cadena.

$$P = F * v \quad (5.5)$$

$$F_p = \frac{P}{v} = \frac{343.256 \text{ w}}{10 \text{ m/min}} = 2059.54 \text{ N}$$

Número de revoluciones del piñón conducido

Para conocer el número de revoluciones del piñón asumiremos un diámetro de 50 mm.

$$v = v_2 = \frac{\pi * D_p * n_2}{60} \quad (5.6)$$

$$n_p = \frac{60 * v}{\pi * D_p} = \frac{60 * (10/60)}{\pi * 0.050} = 64 \text{ rpm}$$

$$n_2 = 64 \text{ rpm}$$

La Catarina de la faja, así como la Catarina de la cadena que va al motor se encuentran en el mismo eje entonces.

$$n_2 = n_1 = 64 \text{ rpm}$$

Para seleccionar el tipo de cadena utilizamos el apéndice N, entrando en ella con los siguientes valores:

Tipo de cadena: Cadena con aletas cilíndricas

Potencia corregida de cálculo $P_c = 0.343 \text{ kW}$;

Velocidad de giro del piñón: 64 r.p.m.

Con estos valores elegimos una cadena Tipo 8B; de paso $p = 15.875 \text{ mm}$; $q_{cadena} = 0.70 \text{ kg/m}$.

Con estos datos podemos realizar los siguientes cálculos

Calculo de diámetro de ruedas (piñón)

$$D_1 = \frac{p}{\text{sen}\left(\frac{\pi}{Z_1}\right)} \quad (5.7)$$

Diámetro de piñón

$$D_1 = 85.21 \text{ mm}$$

Diámetro de Catarina de faja

$$D_2 = 101.33 \text{ mm}$$

Distancia entre centros (C)

Para el cálculo de la distancia entre centros, debe tener una equivalencia de $25p$ (25 veces el paso) entonces obtenemos un $L = 9010 \text{ mm}$, luego recalculamos las dimensiones requeridas.

$$C = p \frac{\left(\frac{L}{p} - \frac{Z_2 + Z_1}{2}\right) + \sqrt{\left(\frac{L}{p} - \frac{Z_2 + Z_1}{2}\right)^2 - 8\left(\frac{Z_2 - Z_1}{6.28}\right)^2}}{4} \quad (5.8)$$

Distancia entre centros a lo largo de faja

$$C_2 = 2699.199 \text{ mm}$$

Distancia entre centros de motor- faja

$$C_1 = 365.285 \text{ mm}$$

Calculo de longitud de la cadena guía y cadena de transmisión.

Calculo de longitud de la cadena (L)

$$L = 2C + \frac{Z_1 + Z_2}{2}p + \frac{\left(\frac{Z_2 - Z_1}{6.28}\right)^2}{C}p^2 \quad (5.9)$$

Longitud de cadena a lo largo de faja

$$L_2 = 5715.6714 \text{ mm}$$

Longitud de cadena de motor- faja

$$L_1 = 997.27 \text{ mm}$$

5.2.2 Calculo del diámetro mínimo del eje de transmisión.

Máximo torque ejercido.

$$T = F * D/2 \quad (5.10)$$

$$T = \frac{2059.54 \text{ N} * 0.101\text{m}}{2} = 104.35 \text{ Nm}$$

Para hallar el esfuerzo usaremos un acero bajo a medio contenido de carbono, entre sus propiedades de buena soldabilidad y maquinabilidad

Entre estos aceros son comerciales; podemos utilizar un ASTM A36 o su equivalente 1038 para nuestros cálculos utilizaremos un acero 1018 conocido también como grado maquinaria este material por ser una barra estirada en frío con bajo contenido de carbono tiene buena ductilidad y resistencia.

Tiene las siguientes propiedades

$S_y = 250 \text{ Mpa}$ Según tabla

$n = 1.5$ Según recomendación de fatiga en ejes tabla.

Un momento vector que es colineal con eje de un elemento, se le conoce como vector de par de torsión la barra sometida a un momento se dice que queda sometida a torsión. (Shiguey & Mitchell, 1990) Cap. 3, Pág. 95

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{0.5 * S_y}{n} = \frac{0.5 * 250}{1.5} = 83.33 \text{ Mpa}$$

Ecuación de torsión elástica

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{T * c}{J} \Rightarrow \frac{J}{c} = \frac{T}{\tau_{m\acute{a}x}} \quad (5.11)$$

Momento polar de inercia con un eje de radio c

$$J = \frac{\pi * c^4}{2} \Rightarrow \frac{J}{c} = \frac{\pi * c^3}{2} \quad (5.12)$$

Igualando las ecuaciones (5.11 y 5.12), tenemos

$$\frac{T}{\tau_{m\acute{a}x}} = \frac{\pi * c^3}{2} \quad (5.13)$$

$$c^3 = \frac{2 * T}{\tau_{m\acute{a}x} * \pi} = \frac{2 * 104.35}{83.33 * 10^6 * \pi}$$

$$c = 9.27 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo es $d = 2 * c = 18.54 \text{ mm}$

El diámetro mínimo es 18.54 mm aproximadamente 19.1 mm de esta forma podemos seleccionar entre ejes con dimensiones comerciales de $\frac{3}{4}$ " o 1".

5.2.3 Selección de chumaceras.

Teniendo como datos del eje

$$n_{eje} = 64 \text{ rpm}$$

$$F_{eje} = 2059.54 \text{ N} = P$$

$$\emptyset_{eje} = 19.1 \text{ mm}$$

Para seleccionar un rodamiento, la vida requerida se establece en relación con las condiciones de operación. La vida requerida es usualmente determinada por el tipo de maquina requerimiento, duración de servicio y confiabilidad.

Calculo del factor de vida para rodamientos f_h según apéndice Ñ

Para máquina de transmisión de engranes en general se considera en el rango de $(4 - 12) \times 10^3 \text{ horas}$ de la cual seleccionaremos $L_{10} = 8 \times 10^3 \text{ h}$. En nuestra maquina solo existe carga radial, por lo que nuestro rodamiento será rígido de bolas.

Según la escala para cálculo de vida nominal básica f_h y factor de velocidad de rodamientos f_n según apéndice O.

$$f_n = 0.8$$

$$f_h = 2.52$$

Calculo de capacidad básica de carga dinámica C

$p = 3$ Para rodamiento de bolas

$$C = \left(\frac{L_{10} * 60 * n}{10^6} \right)^{1/p} * P \quad (5.14)$$

$$C = \left(\frac{8000 * 60 * 64}{10^6} \right)^{1/3} * 2059.54$$

$$C = 6438.95N$$

La carga dinámica también puede ser calculada por:

$$C = P * \frac{f_h}{f_n} \quad (5.15)$$

$$C = 6487.54 N$$

El sistema son rodamientos con carga radial equivalente 6500 N, verificando el apéndice P seleccionaremos una chumacera cuadrada con carga radial y según apéndice Q usaremos un rodamiento de bolas, usaremos una chumacera UEL FV204D1W3.

5.2.4 Cálculo y selección de motoreductor

$$P_p = 343.256 w * \frac{1 Hp}{746 w}$$

$$P_p = 0.46 \text{ Hp}$$

Potencia teórica de cálculo

Rendimiento 98.5% este varía según fabricante

$$\eta = \frac{98.5\%}{100\%} = 0.985$$

Potencia de entrada

$$P_e = \frac{0.46 \text{ Hp}}{0.985} = 0.467 \text{ Hp}$$

Sabemos que

$$n_1 = 64 \text{ rpm}$$

Relación de transmisión

$$i = \frac{n_e}{n_1} = \frac{1800 \text{ rpm}}{64 \text{ rpm}} = 28.125$$

$$i = 28$$

Tenemos una reducción equivalente a 28

Potencia de mando P_m

Factor de servicio según apéndice R

$$P_m = P_e * f_s = 0.467 \text{ Hp} * 1.2$$

$$P_m = 0.56 \text{ Hp}$$

Posición de montaje

Diámetro del eje para el acoplamiento mecánico

DATOS:

Motor 400 w y a 1750 rpm : 0.45 Hp

Horas de trabajo : 8hr/día

Tipo de trabajo : carga variable (según apéndice)

Arranque hora : arranca y trabaja de forma constante

Relación de reductor : 28:1

Asignamos arranque hora : 60 Hz de frecuencias

Coefficiente de servicio según apéndice R para carga variable y entre 8 - 10 horas de trabajo,

$$f_s = 1.2$$

Como tenemos una relación de $i = 28$ podemos aproximarlo a una relación $i = 30$ además con de salida 69 rpm 0.4 Kw, según catálogo, apéndice S.

Motores con ingreso de 1750 rpm y reducción a 69 rpm

Seleccionamos un motor modelo VS de potencia y velocidad requerida, este puede variar ligeramente según modelo y potencia de cada fabricante.

ITEM	potencia	modelo	Rev. Entrada (rpm)	Rev. Salida (rpm)	Relación de velocidad
1	0.4 watts	VS	1750	60	29

5.3 Cálculo y selección de turbina de aire

Para poder seleccionar el ventilador debemos de tener en cuenta la temperatura a la cual está el interior del túnel, la temperatura debe ser constante en todo el volumen, para que esto suceda se instala un ventilador que inyecta aire y este al tener contacto con las resistencias eléctricas, se calienta, al ingresar al túnel este pasa por una plancha agujerada , este sirve para que el aire caliente se disperse en todas las direcciones dentro de la cámara, de esta forma tener una temperatura de entre 180 y 200 °C necesarios para que la termocontracción sea efectiva.

Las dimensiones del interior del túnel son de 1.8m de largo, 0.6m de ancho y 0.4 de alto dando así un volumen de 0.432 m³, para generar un flujo en un determinado tiempo.

$$Q_{aire} = \frac{Vol}{t}$$

$$Q_{aire} = \frac{0.432 \text{ m}^3}{1 \text{ seg}} * \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ h}} = 1555.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Del apéndice T podemos seleccionar el modelo de turbina SE250X102, con una velocidad de rotación de 1500 rpm, y produce un caudal de 1800 m³/h con una caída de presión de 600 Pa, tienen características construcción en acero galvanizado, rotación horaria estándar, temperatura de trabajo soportado de hasta 300°C.

5.4 Cálculo y selección de ventilador para enfriamiento.

Para seleccionar un ventilador de aire y enfriar el paquete que sale del túnel, en esta etapa al enfriar el termoplástico el material completa su proceso de retracción, aquí alcanza mu mayor fuerza de contracción el file termoretraible mas no tanto el índice de retracción.

En esta acción determinaremos la potencia del ventilador, realizaremos un balance de energía.

$$E_{saliente} = E_{aire}$$

$$-\dot{m}C_p(T_{ambiente} - T_{contracción}) = [\dot{m}C_p(\Delta T)]_{aire}$$

$$-(Q_{ambiente} - Q_{contracción}) = [\dot{m}C_p(\Delta T)]_{aire}$$

Dónde:

$Q_{ambiente} = 0$, porque no existe contracción, $T_{ambiente} = 13^{\circ}C$, $C_p = 987 J/Kg * ^{\circ}K$, consideraremos un gradiente de temperatura $25^{\circ}C$ y $Q_{carga} = 11654.56 W$

$$\dot{m}_{aire} = \frac{11654.56}{1007 * 25} * \frac{3600s}{1h} = 1666.59 \frac{m^3}{h}$$

Con el valor \dot{m}_{aire} vamos al apéndice U, en el cual seleccionamos un ventilador tipo SAE300.

Diámetro de hélice (mm)	Potencia (W)	Velocidad (rpm)	Caudal ($\frac{m^3}{h}$)
300	95	1350	1690

Se usara un ventilador de enfriamiento de $0.135 Kw = 0.184 Hp$

5.5 Selección de cortinas térmicas para túnel

Es importante evitar la pérdida de flujo de calor concentrado en la cámara de termocontraído este produce pérdidas de calor, las temperaturas a las cuales trabajan en esta zonas del túnel que van desde los $120^{\circ}C$ y $180^{\circ}C$ aproximadamente, las cortinas cubrirán todo el área del ducto de ingreso del túnel, de la misma forma en la salida del túnel.

Usaremos las cortinas ateflonadas, la cual están hechas con materiales que resisten temperaturas hasta los $280^{\circ}C$ según fabricante suficientes para contener lo requerido. La selección será según apéndice M.

5.6 Dimensionamiento de estructura y carcása del túnel

Las dimensiones que tendrá el túnel en conjunto será 2.80m de largo, 0.90m de ancho y una altura de 1.80m, para el ensamblado usaremos planchas de acero inoxidable AISI 304. Para las uniones usaremos soldadura TIG y también los remaches para unión de planchas y otras piezas, para elementos de piezas desmontables usaremos pernos de sujeción.

5.7 Análisis de la estructura que soporta el túnel

Análisis estructural

Para el cálculo de la estructura que soportará principalmente la carga de túnel de calor y la faja transportadora, calcularemos solo el peso muerto de todos los componentes y a esto adicionaremos el peso de los paquetes de agua, que en este caso será cuando la maquina este en máxima carga:

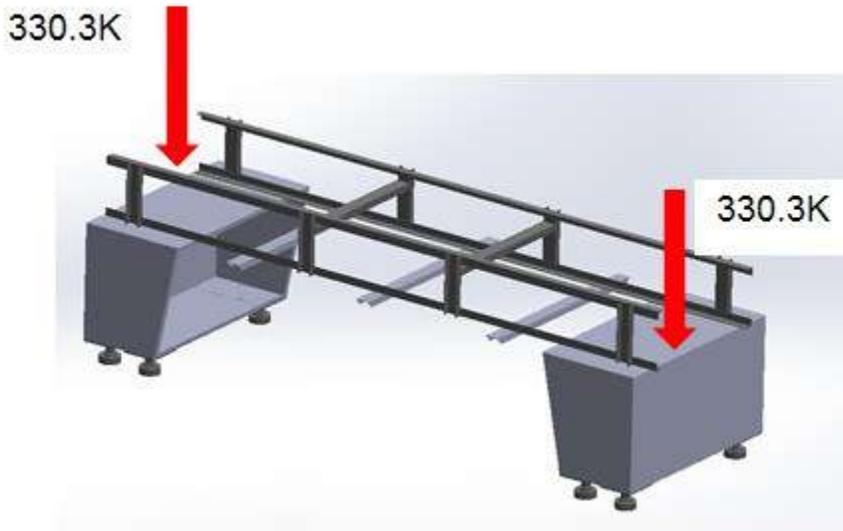
Tabla 5.1
Carga Actuante Sobre La Estructura

	Carga	peso
1	Peso de los componentes del túnel de calor: motoreductor , estructura, ventiladores	572.7 kgf
2	Peso de los componentes de la cadena transportadora, tablero de control	28kgf
Carga muerta =		600.7Kgf
1	Peso del paquete de agua (06 botellas De 2000ml) considerando 5 paquetes dentro del túnel:	12.00kgf
Carga viva =		60.0kgf
Carga Total=		660 .7kgf

Nota: Son Las Cargas Que Actúan Sobre La Estructura (Estos Pesos Son La Suma De Todos Los Componentes Que Tiene El Túnel)

El peso total o carga total consideraremos de toda la maquina distribuida en los dos soportes esta carga equivale a 660.7kg. Que será repartida entre los dos soportes.

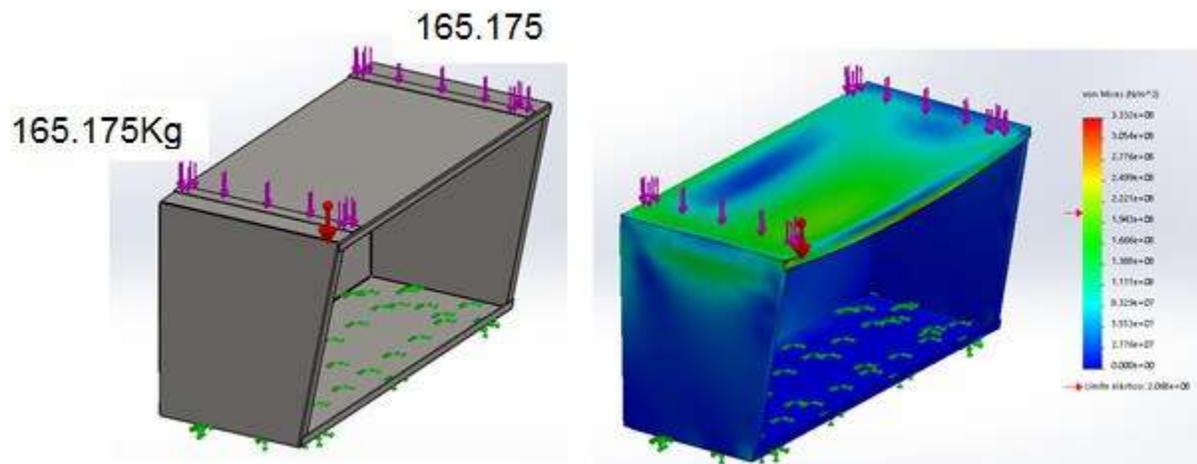
Figura 5.1
Cargas Actuantes Distribuidas



Nota: Carga distribuida, carga total carga muerta más carga viva

Para el cálculo del armazón la carga distribuida volverá a dividirse según los dos puntos de apoyos que se muestran en la figura equivalente a 115.15 Kgf. Cada soporte se planteó para ser construido como chapa metálica en acero inoxidable de 2mm. La carga se distribuirá a lo largo de todas las áreas de contacto. Como se muestra el grafico hecho el software solidworks v. 2018.

Figura 5.2
Carga Distribuida En Soporte Izquierdo



Nota: En El Grafico Se Muestra Una Deformación Mínima Por Las Cargas Actuantes En Ella

Como se muestra en la figura anterior las deformaciones como las deflexiones en los puntos de apoyo son mínimas así como en los soportes, podemos concluir que el modelo soportara las cargas del túnel.

Calculo de armazón que soporta en túnel térmico así como la cadena transportadora.

Para el cálculo del armazón que soportara el túnel de calor, aplicaremos solo el peso que se distribuye a lo largo de la estructura esto incluye el peso vivo (el peso total de los paquetes sobre la cadena transportadora).

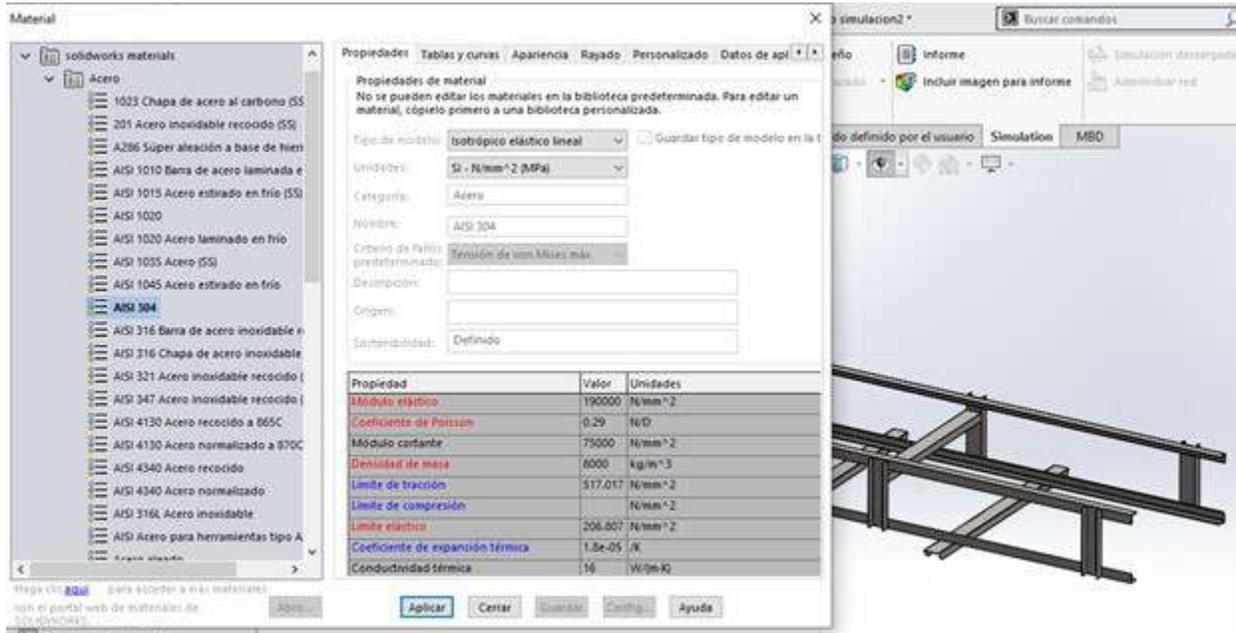
Carga distribuida a lo largo de la estructura.

Figura 5.3
Carga Distribuida A lo Largo De La Viga



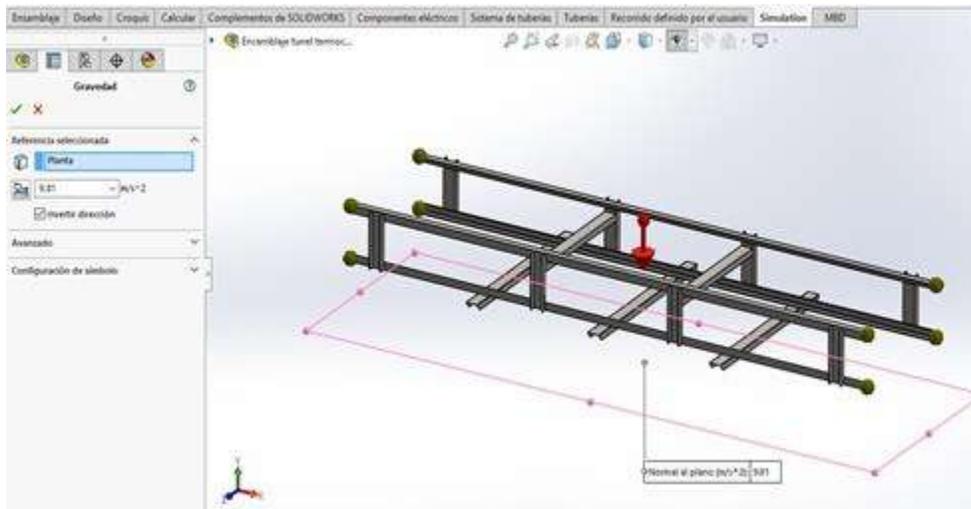
Es muy importante seleccionar el tipo de material porque de este vamos obtener propiedades del material modulo elástico, modulo cortante, limite elástico, etc. En este caso seleccionamos un Acero AISI 304. Selección de material para estructura de túnel AISI 304

Figura 5.4
 Selección de Material para Estructura de Túnel AISI 304



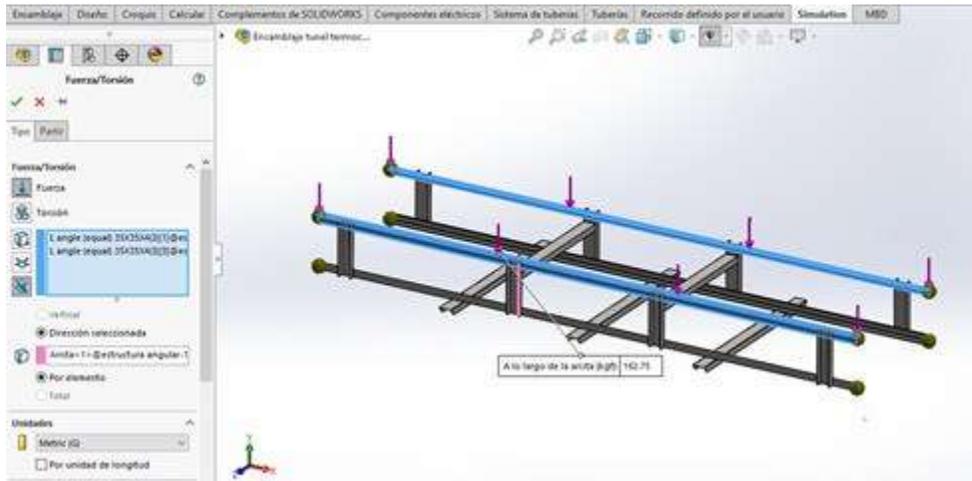
Ahora definimos los puntos de apoyo en la estructura de soporte.

Figura 5.5
 Asignación de los Puntos de Apoyo del Viga de la Estructura Sobre los Soportes



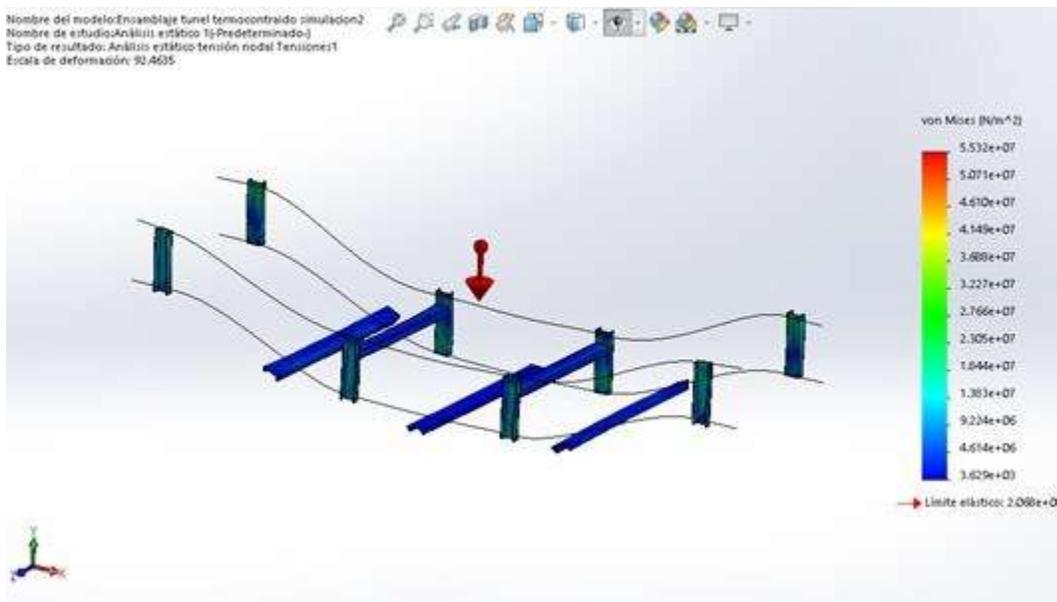
Ahora verificaremos la carga distribuida a lo largo de la viga

Figura 5.6
Carga Distribuida a lo Largo de la Viga



Verificaremos el esfuerzo de la viga cuando se aplica las cargas a lo largo del carril que soporta las cadenas de transporte.

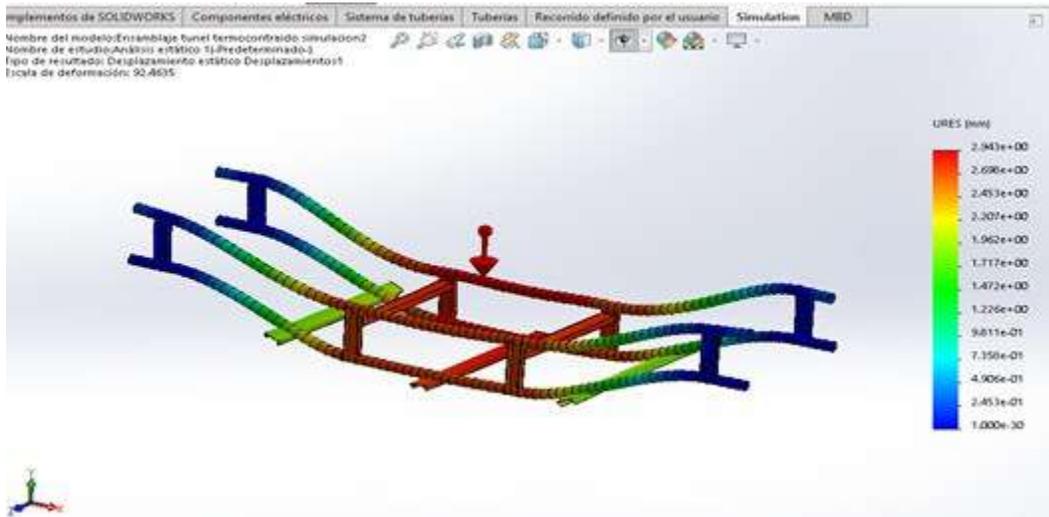
Figura 5.7
Análisis Estático de Tensión Nodal



Desplazamiento estático de la viga al estar en contacto con el peso del todo el sistema.

Figura 5.8

Resultado del Desplazamiento Estático cuando se Aplica la Carga del Sistema

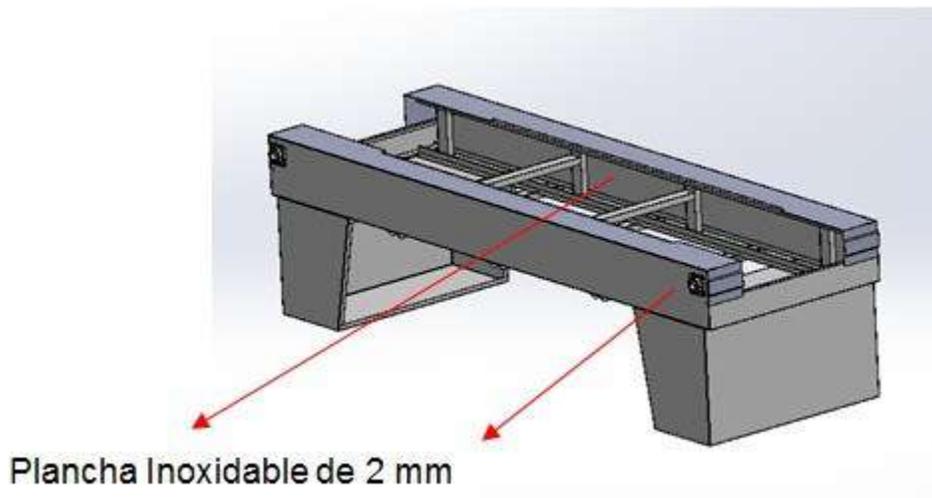


Donde el esfuerzo máximo (55.32 Mpa) es menor que el límite elástico 206.8Mpa, como se observa en la gráfica de distribución de esfuerzos.

El desplazamiento máximo es de 3mm lo cual es aceptable para una carga máxima, y la cual se reducirá con las guardas laterales que ejercerán un refuerzo extra y actuaran como vigas de refuerzo.

Figura 5.9

Plancha Inoxidable con Espesor 2mm



Nota: la estructura esta reforzada con planchas de acero inoxidable alrededor de toda la estructura

Resumen de los perfiles a utilizar.

Para construir la viga que soporta al túnel consideramos utilizar dos tipos de vigas, esto es importante para poder reducir costos en materiales y además son comerciales.

Tabla 5.2
Perfiles Utilizados para Estructura

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	VIGA SOPORTE	ANGULAR INOX 304 35X35X3.1mm	4
2	VIGAS SECUNDARIAS	PERFIL C INOX 304 60X30X3.1mm	5

Figura 5.10
La Estructura está Conformada por 2 Vigas Unidas por Viguetas



5.8 Cálculo y selección de aisladores de vibración

Nuestra máquina de termocontraído requerirá de aisladores de vibración en los puntos de apoyo en la zona de contacto con el piso.

Frecuencia de excitación

La frecuencia de excitación es la frecuencia a la que una fuerza externa o perturbación actúa sobre un sistema, en el contexto de una maquina eléctrica que es accionada por un motoreductor, esta frecuencia suele estar relacionada con la velocidad de rotación (f_e) se puede calcular a partir de su velocidad de rotación rpm.

$$f_e = \frac{RPM}{60} \quad (5.16)$$

El motoreductor de 0.5 HP opera a 64 RPM

$$f_e = \frac{64}{60} = 1.07 \text{ (Hz)}$$

Frecuencia natural

Es la frecuencia a la cual un sistema tiende a oscilar en ausencia de cualquier fuerza externa, debido a su propia elasticidad e inercia. Para un sistema mecánico como una maquina montada sobre soportes, la frecuencia natural (f_n) se puede calcular con la siguiente formula.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ (Hz)} \quad (5.17)$$

Dónde:

k: constante de rigidez (N/m)

m: masa de la maquina en (Kg)

El túnel de termocontraído tiene un peso total de 660.7 Kg este peso nos dará una idea general de como calcular la constante de rigidez si se tiene una información adicional, como el desplazamiento estático debido a la carga (compresión total que genera toda la carga de la maquina).

$$F_m = m * g = 660.7 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 6481.467 \text{ N}$$

Consideraremos que el desplazamiento estático es de $\delta = 10$ mm de esta forma podemos aproximarnos a una constante de rigidez que sea válido para nuestros cálculos, tenemos que tomar en cuenta que la fuerza de la masa del túnel de termocontraído se divide en dos puntos de apoyo en el piso pero que cada punto de apoyo estará apoyados por otros dos puntos dispuestos equitativamente, para que el sistema este equilibrado.

$$k = \frac{F_m}{\delta} \quad (5.18)$$

Elección y posición de los aisladores

El equipo de termo contracción tiene una carga que se distribuirá entre los cuatro soportes las cuales están en contacto con el piso, esta disposición nos ayuda a cubrir dos funciones principales.

Como función estática, nos permite una buena distribución de cargas, absorbiendo ciertas tolerancias de fabricación.

Como función dinámica, realiza un mejor aislamiento de vibraciones y choques el cual mejora sustancialmente la vibración circundante.

El aislador requiere tener una rigidez y lo determinamos de la siguiente expresión.

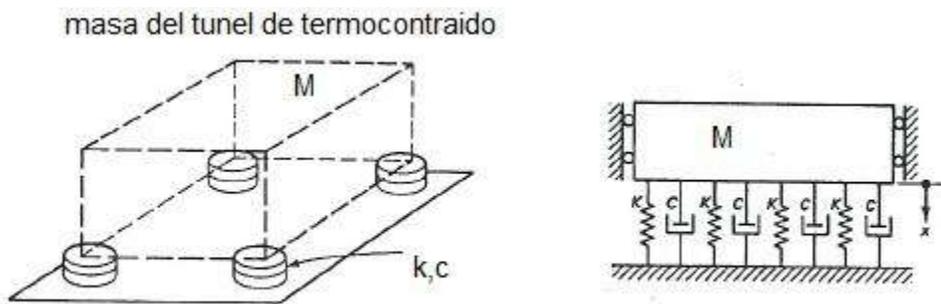
$$k = m * w_n^2 = \frac{4\pi^2 2P}{g * f_n^2} = 8.04 * \frac{P}{f_n^2} \text{ (N/m)} \quad (5.19)$$

Dónde:

P: Peso de la maquina en (Kg) carga que soporta el aislador

En estos casos, los aisladores deben de disponerse de tal forma que las fuerzas se repartan con la mayor igualdad posible entre ellos, de tal forma que podemos decir que los muelles y amortiguadores están en paralelo; en la figura muestra una masa montada sobre 4 aisladores dispuesta equitativamente, cada punto con una constante K y un coeficiente de amortiguamiento c.

Figura 5.11
El Peso de la Carga se Distribuirá en 4 Aislantes



Montaje simétrico y posición de los aislantes vibratorios, esquemático de la máquina

La carga sobre cada aislador será, esto cuando los aisladores se encuentran ubicado simétricamente.

$$P_n = \frac{P}{n} \text{ (Kg)} \quad (5.20)$$

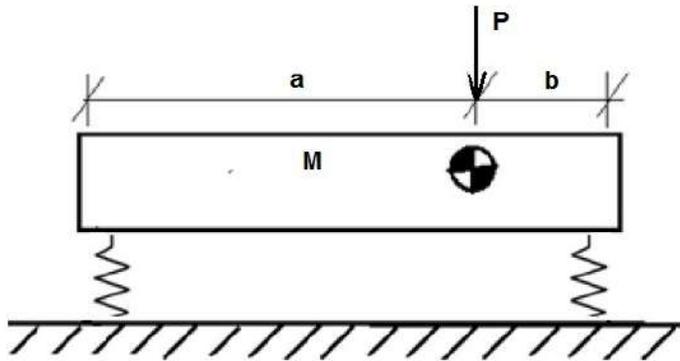
Cuando los aislantes no se encuentran simétricamente dispuestos y el centro de gravedad se encuentra en una posición distinta podemos calcular la constante del sistema de la siguiente forma.

$$k = \frac{(a + b)^2}{\frac{a^2}{k^2} + \frac{b^2}{k^2}} \text{ (N/m)} \quad (5.21)$$

Dónde:

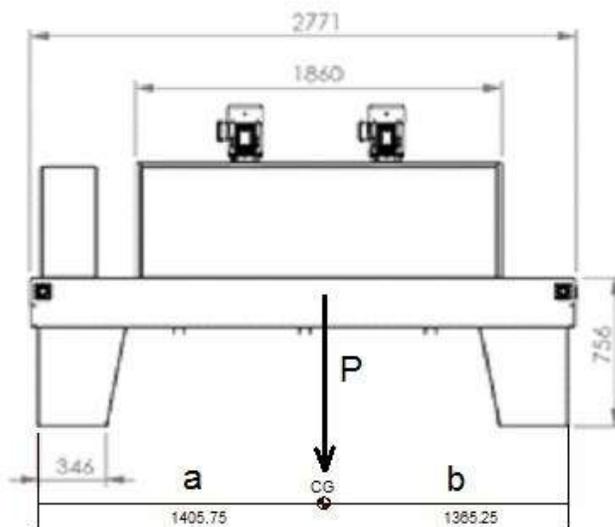
a y b : Distancia de los aisladores al centro de gravedad

Figura 5.12
Centro de Gravedad esta Entre los Puntos a y b



El peso se divide entre los aisladores, siempre que el peso se encuentre en el centro de gravedad:

Figura 5.13
El Centro de Gravedad del Lado Lateral



Para calcular la constante de rigidez tenemos que tomar en cuenta lo siguiente. La carga total de la maquina es de $F_m = 6481.467$ N, la maquina esta soportada por dos apoyos al calcular el centro de gravedad tenemos los valores para calcular el peso de cada apoyo.

$$a = 1405.75 \text{ mm} = 1.40575\text{m}$$

$$b = 1365.25 \text{ mm} = 1.36525\text{m}$$

$$P = F_m = 6481.467 \text{ N}$$

Calculamos P en cada soporte de la maquina

$$P_1 = \frac{Pb}{a+b} (N)$$

$$P_1 = \frac{6481.467 \text{ N} * 1.36525\text{m}}{1.40575\text{m} + 1.36525\text{m}} = 3193.368(N)$$

$$P_2 = \frac{Pa}{a+b} (N)$$

$$P_2 = \frac{6481.467 \text{ N} * 1.40575\text{m}}{1.40575\text{m} + 1.36525\text{m}} = 3288.099(N)$$

En cada soporte de la maquina se utilizara dos aisladores de vibración por lo tanto tendrá las mismas propiedades.

$$F_1 = \frac{P_1}{2} = \frac{3193.368(N)}{2} = 1596.684 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{P_2}{2} = \frac{3288.099(N)}{2} = 1644.049 \text{ N}$$

Calculo de la constante de rigidez.

$$k = \frac{P}{\delta}$$

$$k_1 = \frac{F_1}{\delta} = \frac{1596.684 \text{ N}}{0.01\text{m}} = 159668.4 (N/m)$$

$$k_2 = \frac{F_2}{\delta} = \frac{1883.67 \text{ N}}{0.01 \text{ m}} = 1644.049 \text{ (N/m)}$$

De las dos constante halladas tomaremos el de mayor valor para poder hallar la frecuencia natural del sistema entonces tendremos un $k=1644.049\text{N/m}$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1644.049}{660.7}} = 2.51 \text{ Hz}$$

$$\frac{f_e}{f_n} > 1$$

Razón de frecuencias

$$r = \frac{f_e}{f_n} \quad (5.22)$$

$$r = \frac{1.07}{2.51} = 0.4248$$

$\frac{f_e}{f_n} < 1$: Como la razón de frecuencia es menor a uno quiere decir que carga va hacia abajo,

5.8.1 Cálculo de Transmisibilidad

La eficacia con que se transmiten los sistemas que absorben la vibración las podemos medir mediante la transmisibilidad, esta medida es la fuerza que se transmite de la máquina hacia la superficie donde se ubica, la transmisibilidad es adimensional y la podemos deducir como la fuerza que se transmite entre la fuerza que es originada por la vibración, a esta última se denomina fuerza de excitación.

$$T = \frac{\text{Fuerza que se transmite}}{\text{Fuerza de excitación}} \quad (5.23)$$

Una definición mucho más exacta sería, “Es una relación adimensional de la amplitud de la respuesta de un sistema en una vibración forzada estacionaria a la amplitud de la excitación” esta relación no es necesariamente solo fuerzas, si no que a su vez puede ser desplazamientos, velocidades, aceleraciones. De esta forma la transmisibilidad se puede calcular mediante la relación de frecuencias mediante la siguiente expresión.

$$T = \frac{1}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \quad (5.24)$$

A su vez, el rendimiento de un sistema aislado, tiene una eficiencia de aislamiento, el cual se define como el complemento de la transmisibilidad y se expresa como:

$$A = 1 - T$$

- En el proceso de transmisibilidad transmite una fracción de fuerza que perturba el sistema, para ello el aislamiento absorbe toda esa fuerza perturbadora esto hace que el sistema quede en un estado de equilibrio o tenga una vibración a una frecuencia mínima, por esa razón es importante que el aislamiento tenga una buena eficiencia, porque cuanto más absorbe la vibración se hace mínima.
- La transmisibilidad no solo depende del aislador, sino también de las características, diseño y materiales del soporte y también de todo el sistema que necesita aislar, si suponemos que solo tiene un grado de libertad, será suficiente las propiedades del aislador y la masa del sistema aislado.
- Por lo general los motores eléctricos, ventiladores incluso los motores de combustión interna producen vibraciones armónicas simples; las maquinas en las cuales se producen

impactos, compactadoras, molinos, zarandas, etc. Son vibraciones impulsivas que requieren de amortiguamiento para disipar las vibraciones violentas.

- Para el caso de nuestro sistema de termocontraído el motor eléctrico acciona la cadena transportadora.

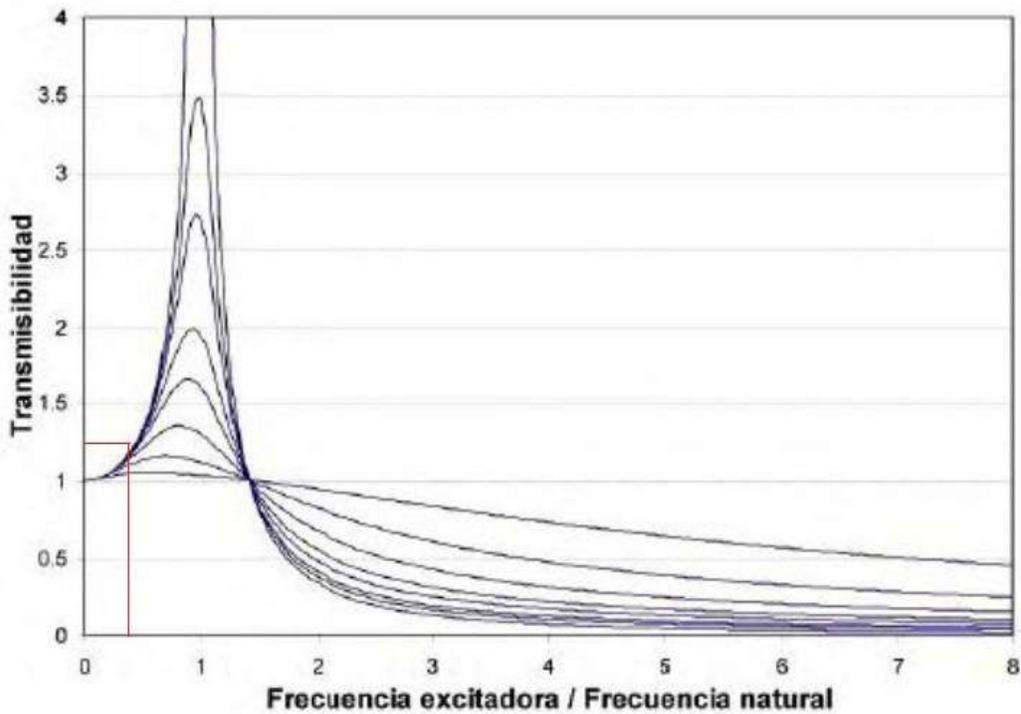
Por lo general las fuerzas excitadoras se producen e los motores eléctricos, maquinas eléctricas, ventiladores, inyectores también se produce en los motores de combustión interna estos tienen una vibración de carácter armónico simple, en sistemas que producen impactos como, chancadoras, cizallas, zarandas etc. cuya fuerza motriz son de naturaleza impulsiva. Como nuestro sistema está impulsado por un motor eléctrico vamos a considerar que la dependencia de la vibración es únicamente con la frecuencia, por lo que el amortiguamiento es $c=0$; por lo tanto la razón de amortiguamiento es 0.

$$\frac{c}{c_n} = 0$$

En el sistema no existe amortiguamiento entonces $\zeta = 0$

$$T = \frac{1}{\sqrt{(1 - 0.4248^2)^2}} = 1.22$$

Figura 5.14
Transmisibilidad en Función de la Relación de Frecuencias



La transmisibilidad y la relación de frecuencias se encuentran fuera de la zona de amortiguamiento

Representación gráfica del módulo de transmisibilidad

La relación de frecuencia de excitación y frecuencia natural

$$r = 0.4248$$

$r < 1$: Se encuentra en zona de frecuencias bajas

$r = 1$: Se encuentra en zona de resonancia

$r > 1$: Se encuentra en zona de frecuencias altas

CAPÍTULO VI

6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En este capítulo realizaremos la descripción de los elementos, materiales, accesorios y los procedimientos de construcción del túnel de termocontraído, también detallaremos el ensamble, montaje y pruebas esenciales de la máquina para un buen funcionamiento.

6.1 Especificaciones técnicas de materiales

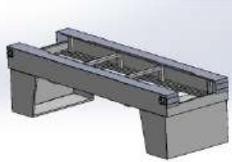
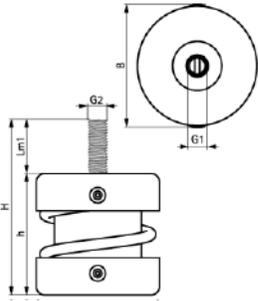
Tabla 6.1

Especificaciones Técnicas de Materiales Para Construcción de Túnel de Termocontraído

Elemento	Descripción	Norma	Proceso
 <p>Ventilador helicoidal</p>	Motor eléctrico con Potencia de 0.5 hp, flujo axial de 50 cfm., 1680 Rev./min a 50 Hz	Fabricado bajo norma BS 848 con grado de protección IP 44 (DIN 40050) produce sonido inferior a 65 dB fabricado con acero F110 provisto con rodete de alabes de 182mm de diámetro con un peso 4.6kg.	Fijadas a la estructura mediante 4 tuercas, las cuales llevan gomas antivibratorias y ajustadas mediante pernos y volandas presión
 <p>Planchas para Carcasa de Túnel Interno externo</p>	Ensamblado con planchas de acero inoxidable AISI 304 Espesor 2mm.	Planchas inoxidable AISI 304 con espesor 2mm ; plegadas y unidas con soldadura proceso TIG	Tapa externa largo:1.80m alto:0.60m ancho:0.90m, Tapa interna largo:1.80m alto:0.50m ancho:0.64m

<p>Soldadura</p> 	<p>Soldadura TIG(Soldadura con Tungsteno y gas inerte)utiliza como protección gas inerte Argón o helio, No requiere fundente, soldabilidad con la antorcha de punta de tungsteno oro 1.5 lantano</p>	<p>Norma ANSI-AWS proceso GTAW (Gas Tungsteno Arc Welding) equivalente Norma UNE EN ISO procesos 141</p>	<p>En el proceso TIG la pistola apunta ala zona de avance esto permite que el gas proteja perfectamente el baño de fusión.</p>
<p>Remaches</p> 	<p>Remaches POP abierto Duraluminio-acero</p>	<p>Los remaches están fabricados bajo la norma DIN 7337 prescribe: el diámetro del remache, el diámetro del taladro, la resistencia mínima al cizallamiento y a la tracción, así como el espesor a remachar y la combinación de material.</p>	<p>Los remaches sirven para fijar y ensamblar las estructura unir las planchas inox las cuales fueron plegadas; también los remaches se utilizan para colocar las cortinas ateflonadas en la entrada y salida del túnel</p>
<p>Aislamiento</p> 	<p>Fibra de vidrio tipo IF, para uso industrial y químico con protección anticorrosivo</p>	<p>La norma europea 15:804.2012 ejerce como base para la producción de lana de vidrio. La fibra de vidrio cumple con las NORMA ASTM E-8495</p>	<p>La lana de vidrio soporta hasta los 450°C de calor antes de empezar a deteriorarse, es muy eficaz para el uso en calderas, termotanques y túneles de termocontraido.</p>
<p>Cortinas de teflón</p> 	<p>Material antiinflamable que soporte temperaturas de hasta 220°C en condiciones de uso constante</p>	<p>Bajo código de fabricación EGLA100 PTFE y Testado bajo la NORMA EN 13934-1</p>	<p>Está cortina ateflonadas están instaladas al inicio y final de la boca de túnel de termocontraido</p>
<p>Resistencia eléctrica</p> 	<p>Rango de trabajo que llega hasta los 250°C en aproximadamente 8 minutos Potencia de 1000W 220V/330v/480V</p>	<p>Fabricados bajo la norma AISI-430</p>	<p>Instalada en las paredes laterales internas del túnel, el flujo van dirigidas hacia estas para luego calentarse hasta llegar ala temperatura deseada</p>

<p>Motoreductor</p> 	<p>Motorreductor eléctrico trifásico de 6 polos de 1750 rpm con una relación 1:30 con una velocidad de salida de 60 rpm y una potencia 0.4KW equivalente a 0.5 HP trabaja 50-60Hz 110-220V</p>	<p>Construida bajo las normas Americanas NEMA (National Electric Manufacturers Association)</p>	<p>El motor reductor transmite movimiento por medio de cadena de transmisión hacia la cadena transportadora, esta se fija a la estructura mediante 4 pernos de anclaje aislados con una goma anti vibratoria y teniendo un ajuste con volandas y pernos de presión.</p>
<p>Cadena con aletas</p> 	<p>Cadena con aletas cilíndricas Tipo 8B; de paso $p = 15.875 \text{ mm}$; 0.70 kg/m. requerimos una longitud 5700mm</p>	<p>Normas ISO 606 y su equivalente ANSI B29.1 Y DIN8188</p>	<p>Dispuestas y unidas en paralelo mediante piñones, las aletas van unidas mediante tubos de inox las cuales forman la cadena transportadora;</p>
<p>Cadena simple</p> 	<p>Cadena simple Tipo 8B; de paso $p = 15.875 \text{ mm}$; 0.70 kg/m. requerimos una longitud 980mm</p>	<p>Normas ISO 606 (Serie Europea) el más cercano a su equivalente es NORMA ISO 606 (Serie Americana)</p>	<p>Esta cadena es la que transmite del piñón del motorreductor hacia el piñón de la cadena de transportadora.</p>
<p>Chumaceras de pared</p> 	<p>Tenemos un diámetro de eje de 19.1 mm y una carga dinámica de 6500 N</p>	<p>Los rodamientos se fabrican bajo la Norma ISO 492</p>	<p>Usaremos rodamientos de bolas axiales comúnmente conocidas como chumaceras de pared están instaladas a los extremos de la máquina son los que soportan mediante sus ejes a las cadenas; estas están ancladas a la estructura mediante pernos.</p>

<p>Piñón</p> 	<p>Los piñones para cadenas de transmisión son de material compuesto 1045 con dientes templados</p>	<p>los piñones están diseñados bajo las normas ANSI</p>	<p>Usaremos dos medidas de piñón la primera es la que transmite potencia del motoreductor hacia la cadena transportadora diámetro de 81mm y 21 dientes; la segunda es la que está conectada en la cadena de transporte diámetro 105mm y 25 dientes</p>
<p>Carcasa soporte de toda la máquina.</p> 	<p>Ensamblado con planchas de acero inoxidable AISI 304 Espesor 2mm</p>	<p>Planchas inoxidable AISI 304 con espesor 2mm ; plegadas y unidas con soldadura proceso TIG</p>	<p>Cubre las dimensiones de la maquina en su conjunto largo:2.80m alto:1.80m ancho:0.90m para el proceso de unión se consideró la soldadura TIG y ensamble con remaches</p>
<p>Tubos inoxidable</p> 	<p>Tipo, Redondo. Material, Acero Inoxidable 304L . Cédula, SCH 40. diametro de 10mm y espesor 1.5mm</p>	<p>Norma, ASTM A312. Costura, soldable</p>	<p>Se usó como los conectores transversales de la cadena de transporte, están conectados a las aletas de la cadenas</p>
<p>Tablero de Control</p> 	<p>Se arma un tablero de control para mantener una capacidad de 14 kw trifasico, de 8A</p>	<p>Los tableros de control están construidas bajo la NORMA IEC 61440</p>	<p>El tablero de control conmutara el encendido, control de temperatura , velocidad, control automático, apagado de emergencia, etc.</p>
	<p>Aislante anti vibratorio de contacto con el piso máxima de deflexión de 10 mm,</p>	<p>Muelle elástico reforzado con elastómeros fabricado bajo NORMA DIN ISO 2859-1</p>	<p>Fijadas en los 4 puntos de apoyo de la maquina con el piso, estos van fijados mediante pernos 10M tienen doble función aíslan vibraciones, como también tiene propiedades</p>

			dieléctricas, aislantes eléctricos.
--	--	--	-------------------------------------

6.2 Descripción del equipo

El túnel de termocontraído en una máquina que embala paquetes de agua con un file termoretráctil que es conducida por una cadena transportadora hacia un túnel térmico, seguidamente pasa por un inyector de aire frío de esta forma el paquete queda envuelta en una película de plástico termocontraible, asegurando la obtención de una película consistente y apariencia del paquete muy estable.

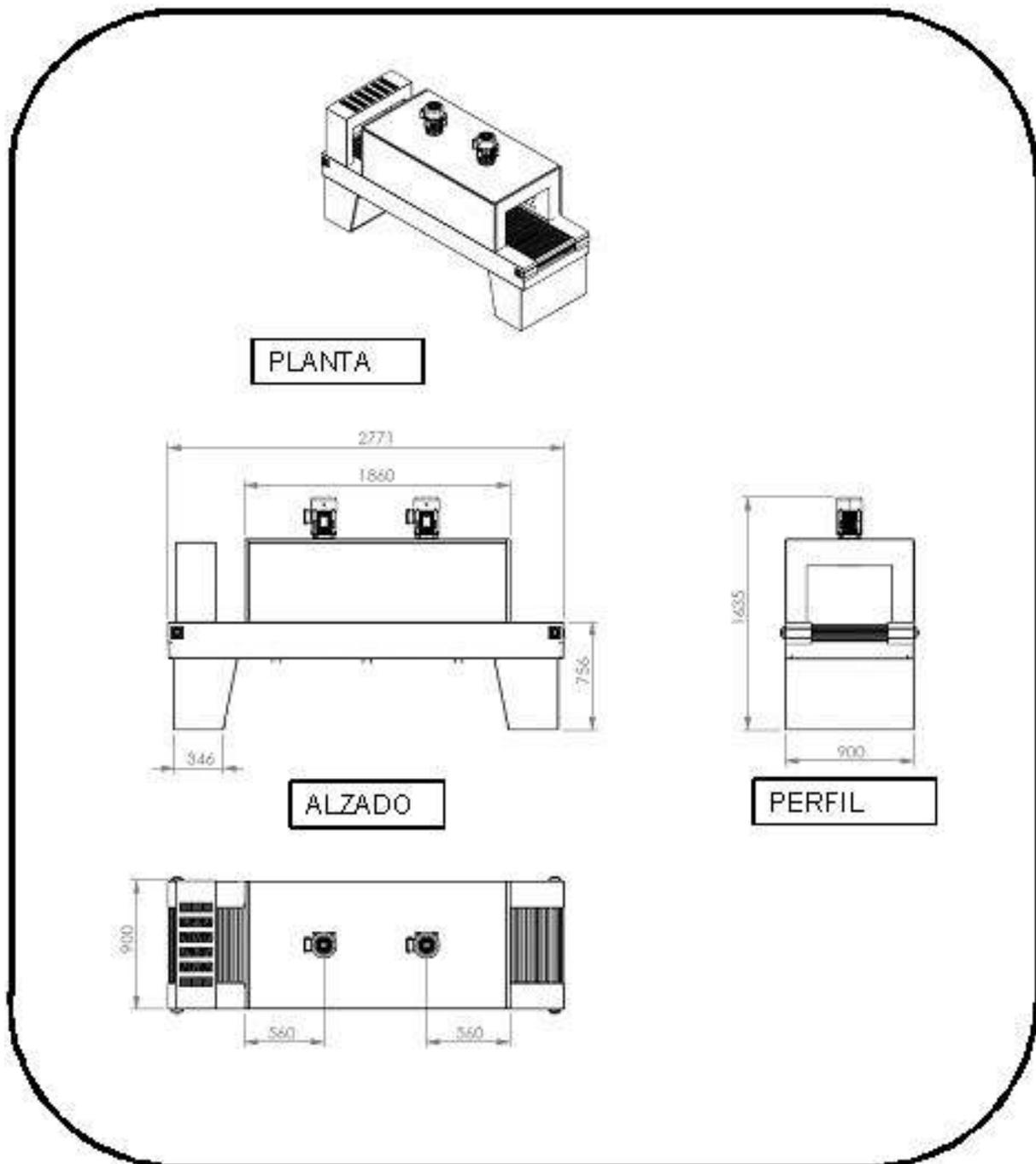
La totalidad de la construcción es netamente local, con facilidad en la operación y con la totalidad de elementos anticorrosivos, como demanda las especificaciones técnicas para la elaboración de productos alimentarios. Su diseño tiene el propósito de fácil manipulación centrado en la ergonomía, seguridad e higiene, sencilla de mantener y cumple con la legislación nacional correspondiente.

6.3 Características principales

6.4 Dimensiones principales

Las dimensiones de la maquina concuerdan con las medidas que sugiere el cliente estas a su vez concuerdan con requerimientos técnicos y ergonómicos el operario puede fácilmente familiarizarse con el túnel de termocontraído y hacer un reconocimiento de cada componente que forma la máquina. En la figura mostramos sus principales vistas.

Figura 6.1
Principales Vistas del Túnel



Datos específicos:

Peso total : 660.7 Kg

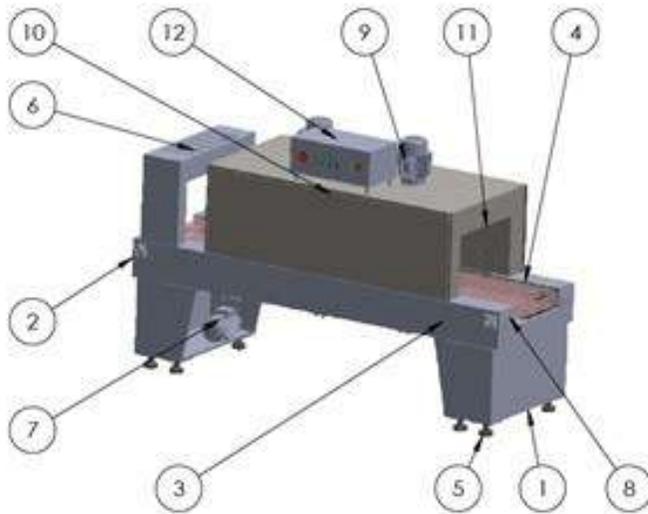
Volumen del equipo : 3.97 m3

6.4.1 Descripción gráfica del equipo

Para la descripción gráfica, señalaremos los componentes principales de la máquina. Esto para que el usuario pueda fácilmente familiarizarse con el producto.

Componentes de equipo

Figura 6.2
Componentes del Túnel



Descripción de elementos del sistema térmico

Tabla 6.2
Componentes Principales Del Túnel De Termocontraído.

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCION
1	SOPORTES	CARCAZA INOX e. 1.5mm
2	CHUMACERA DE PARED	D. 25.4mm
3	GUARDA DE CADENA	CARCAZA INOX e. 1.5mm
4	FAJA TRANSPORTADORA	TUBO INOX D. 10mm e.1.5mm

5	SUJECIONES GRADUABLES	GOMAS AISLANTES
6	VENTILADORES ENFRIAMIENTO	DE VENTILADOR CENTRIFUGO D.165mm
7	MOTOREDUCTOR 1:30	0.5HP TRIFASICO
8	EJE	EJE INOX. D.25.4mm
9	MOTOR ELECTRICO	TRIFASICO 0.5HP ALTA REVOL.
10	TUNEL TERMICO	CARCAZA INOX e. 2mm
11	ENTRADA DE TUNEL	CORTINA TERMICA
12	MANDO ELECTRICO	

Tablero de control túnel de termocontraído.

El tablero de control es el centro de mando y funcionamiento del túnel de termocontraído

Figura 6.3
Elementos Principales del Tablero de Control

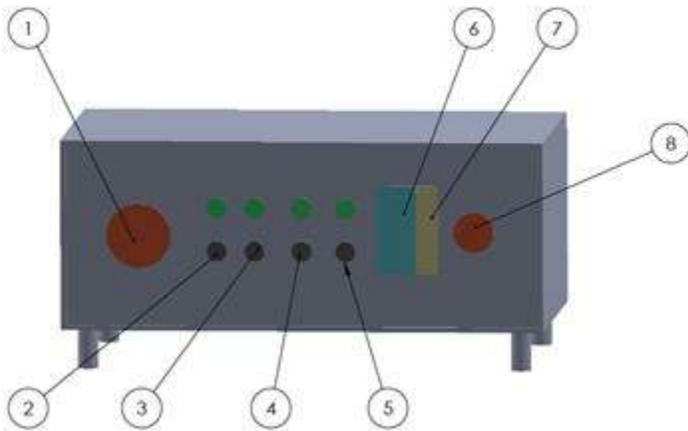


Tabla 6.3*Principales Componentes del Tablero de Control*

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCION
1	BREAKER TERMOMAGNETICO	TRIFASICO
2	POWER CONTROL	
3	AUTO - OFF/HEAT	
4	FAN	
5	COOLING	
6	VARIADOR DE FRECUENCIA	
7	TEMPERATURA	
8	PARADA DE EMERGENCIA	

CAPÍTULO VII

7 COSTO Y PROSUPUESTO DEL TÚNEL DE TERMOCONTRAIDO

7.1 Introducción

En este capítulo detallaremos el costo que se requiere para el diseño y construcción de un túnel de termocontraído, para ello definiremos los costos directos mencionaremos metrado de materiales, selección de componentes, motores, accesorios, elementos estructurales, mandos eléctricos, electrónicos, servicios tercerizados, servicios de ingeniería, mano de obra y de construcción; de la misma forma tenemos los costos de operación de la maquina esto se determinara en un determinado espacio de tiempo entre estos costos podemos mencionar, costos de operatividad de la máquina (combustible o energía), costos de mantenimiento, operarios de equipos, etc.

Los costos de materiales, mano de obra y el maquinado son de naturaleza esencial para el diseño y la construcción de una máquina, puesto que de esto deriva a una sucesión de eventos que permita concluir un trabajo determinado. (Christensen & Dysert, 2005)

7.2 Costos directos y costo de operación de túnel

Los costos directos “llamado como el costo del producto o costo final, va directamente relacionado con la construcción del producto, Diseño de ingeniería y mano de obra calificada, materiales, uso de máquinas, ensamblaje, etc.” (Christensen & Dysert, 2005)

7.2.1 Resumen de los costos directos

Para realizar un resumen de los costos directos describiremos el metrado de los componentes de túnel de termocontraído, es importante identificar los grupos requeridos para realizar un

adecuado control en el proceso de construcción, para ello podemos segmentarlos en tres grupos principales.

Para el metrado contabilizaremos en unidades, longitudes, etc. y los costos los expresaremos en moneda nacional soles (S/.) estos costos son de las cotizaciones hechas en el año 2023.

Tabla 7.1
Resumen de Costos Directos

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNIT. (S/.)	VALOR TOTAL
1	Costo de materiales				S/. 16,436.49
2	Costo de maquinado , trabajos realizados por terceros				S/. 2,655.00
3	Costo de ensamblaje y diseño				S/. 10,500.00
				TOTAL MATERIALES	S/. 29,591.49

7.2.1.1 Costo y metrado de materiales

Se tomó en cuenta todos los materiales usados para la construcción del túnel esto incluye las herramientas y equipos usados se sacó un costo aproximado real, así como los materiales consumibles, incluimos también el costo de traslado de materiales, el costo de lugar donde se realiza el trabajo lo consideramos dentro de los costos globales.

Tabla 7.2
Costo De Materiales Con Referencia A Marzo Del 2023

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNIT. (S/.)	VALOR TOTAL
1	Aislante térmico roca de vidrio e.45mm	m2	3.708	S/. 90.00	S/. 333.72
2	Anillos de fijación D.10mm e.1.5mm	Unid.	122	S/. 0.80	S/. 97.60

3	Cadena con aletas cilíndricas con paso RS 8B-SM	Unid.	2	S/. 280.00	S/. 560.00
4	Cadena de paso simple RS 8B-LM	m	1	S/. 70.00	S/. 70.00
5	Chumaceras de pared F4BC 25M - TPZM	Und.	4	S/. 53.00	S/. 212.00
6	Consumibles (varillas de soldar, argón, trapo industrial, Discos de corte, etc.)	global	1	S/. 550.00	S/. 550.00
7	Cortina Térmica teflonada	Und.	2	S/. 16.00	S/. 32.00
8	Eje inox. D.25. 4mm	m	1.8	S/. 80.00	S/. 144.00
9	Gomas	Und.	4	S/. 4.00	S/. 16.00
10	Llantas de goma Garruchas d3"	Und.	4	S/. 5.50	S/. 22.00
11	Motoreductor 0.5hp trifásico de baja	Und.	1	S/. 1,500.00	S/. 1,500.00
12	Perfil angular 35x35x3mm	m	16.4	S/. 17.00	S/. 278.80
13	Perfil C 60x30x3mm	m	4.7	S/. 25.00	S/. 117.50
14	Pernos inox M3X30	Unid.	24	S/. 3.00	S/. 72.00
15	Pernos inox M5X30	Unid.	30	S/. 5.00	S/. 150.00
16	Pernos inox M5X60	Unid.	4	S/. 8.00	S/. 32.00
17	Piñón tipo B 21dientes	Unid.	2	S/. 64.00	S/. 128.00
18	Piñón tipo B 25 dientes	Unid.	2	S/. 70.00	S/. 140.00
19	Plancha inox 304. e.1.5mm	m2	14.902	S/. 215.00	S/. 3,203.93
20	Plancha inox 304. e.2mm	m2	3.2056	S/. 264.00	S/. 846.28
21	Remaches	kg.	1.5	S/. 8.00	S/. 12.00
22	Resistencia eléctrica fused claptom 38 awg	Unid.	8	S/. 350.00	S/. 2,800.00
23	Rodillos Inox. con protección térmica D.10mm e.1.5mm	Unid.	122	S/. 5.33	S/. 650.26
24	Sensores de temperatura (kit de medición)	Unid.	1	S/. 285.00	S/. 285.00

25	Sensores de velocidad (kit de medición)	Unid.	1	S/. 385.00	S/. 385.00
26	Sistema eléctrico (Cables, aisladores, abrazaderas, etc)	Global	1	S/. 320.00	S/. 320.00
27	Tablero de control	Unid.	1	S/. 1,800.00	S/. 1,800.00
28	Tubo cuadrado Inox D1"	m	6.4	S/. 18.50	S/. 118.40
29	Ventilador centrifugo clase F CMPF-616-2T-0.5	Unid.	2	S/. 230.00	S/. 460.00
30	Ventilador helicoidal clase B HCD20-4M	Unid.	2	S/. 250.00	S/. 500.00
				TOTAL MATERIALES	S/. 15,836.49

7.2.1.2 Metrado de maquinado, y construcción de componentes

Para calcular este costo, se consideró llevar algunos componentes para ser maquinadas, a lugares donde se especializan en ciertos rubros, esto nos brinda una ventaja de disminuir costos, y maquinar piezas a precios accesibles. Los costos varían de acuerdo al lugar y tipo de máquina pero se consideró un costo promedio, al realizar cotizaciones de diferentes empresas.

Tabla 7.3
Metrado de Componentes Maquinados

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNIT. (S/.)	VALOR TOTAL
1	Plegado de planchas	m2	1	S/. 190.00	S/. 190.00
2	Corte plasma de planchas	Unid.	1	S/. 120.00	S/. 120.00
3	Maquinado de chavetas, ejes, torneado, fresado de piezas, etc.	Global	1	S/. 165.00	S/. 165.00
4	Armado e instalación de tablero de control y sistemas eléctricos	Global	1	S/. 280.00	S/. 280.00
5	Calibración y puesta en marcha de equipo	Global	1	S/. 1,600.00	S/. 1,600.00
6	instalación y puestas de fuente de	Global	1	S/. 300.00	S/.

	alimentación para equipo				300.00
				TOTAL 1	S/ 2,655.00

7.2.1.3 Metrado de diseño, construcción y ensamblaje.

Para el cálculo de costos de mano de obra se tomó en cuenta algunos precios referenciales de CAPECO (Cámara Peruana de Construcción) y precios referenciales que pagan algunas empresas en las áreas soldadura e industrial. De igual forma se tomó en cuenta precios referenciales que se pagan en las empresas locales.

Tabla 7.4
Metrado de Diseño y Construcción

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNIT. (S/.)	VALOR TOTAL
1	Diseño de equipo	Unid.	1	S/. 1,800.00	S/. 1,800.00
2	Técnico 1 armador	Unid.	2	S/. 1,500.00	S/. 3,000.00
3	Técnico 2 soldador, armador	Unid.	2	S/. 1,600.00	S/. 3,200.00
4	Técnico 3 eléctrico	Unid.	1	S/. 1,000.00	S/. 1,000.00
5	Supervisor	Unid.	1	S/. 1,500.00	S/. 1,500.00
Los costos se asemejan con los montos de CAPECO (Cámara Peruana de la Construcción)				TOTAL 2	S/ 10,500.00

7.2.2 Costos de operación

El costo de operación de la maquina durante su vida útil, es la adición de los gastos operativos de la maquina esto incluye operador de la máquina, recambio de elementos consumibles, mantenimiento, etc. La buena operatividad de la maquina es indispensable para evitar atrasos o imprevistos no deseados, debemos de evitar las paradas en la máquina.

Tabla 7.5
Costo de KW-h en la Ciudad Del Cusco

Costo S/.	consumo
0.5426	hasta 30KWh
0.7751	hasta 140 KWh
0.83	mayor a 140 KWh

Para el costo de consumo de energía consideramos 1104 horas durante un año y el precio de KW-h según tabla actualizada al 2024 de Electro sur Este S.A.

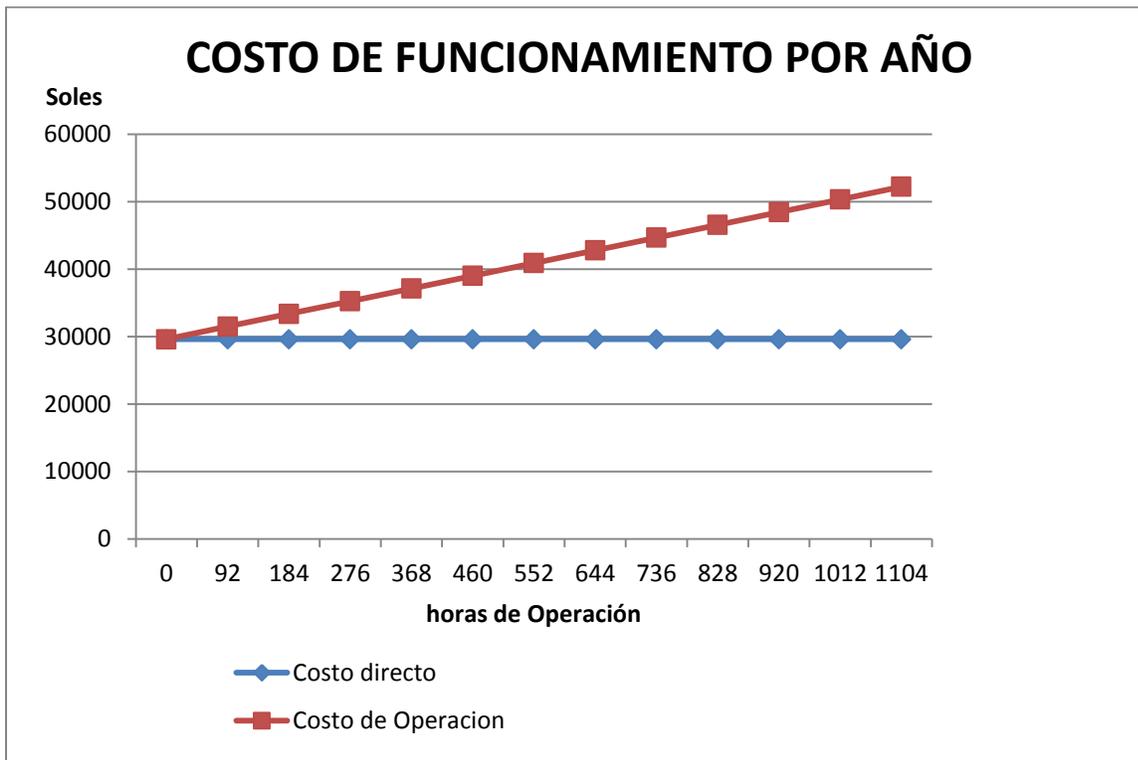
Tabla 7.6
Costo Operativos de una Máquina

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNIT. (S/.)	VALOR TOTAL
1	Costo de consumo de energía (Kwh)	Unid.	1104	S/. 0.78	S/. 855.71
2	Costo de mantenimiento y reparaciones	Unid.	1	S/. 35.00	S/. 35.00
3	Costo de operador de maquina	Unid.	1	S/. 1,800.00	S/. 1,800.00
En comparación con precios de CAPECO				TOTAL	S/. 2,690.71

Costo directo y costo de operación durante un año de funcionamiento

Realizaremos un gráfico con el costo directo convertido en un bien de capital y el costo operativo de la maquina durante un periodo de un año de trabajo, para lo cual sabemos que la maquina trabaja durante un periodo promedio de 4 horas por día, 5 días a la semana haciendo un total de 92 horas al mes y 1104 horas por año.

Figura 7.1
Costo Operativo Durante un Año de Servicio



7.3 Costo de inversión

El túnel de termocontraído tiene un costo de inversión de S/. 29,591.49 ya instalado en planta.

Para conocer el beneficio neto tomaremos el costo de las ventas realizadas mensualmente y los costos de producción se realizara en funcional precio de embalado por paquete el cual equivale a 0.15 soles (S/.) El flujo de producción de la planta es 20 paquetes por minuto además trabaja 4 horas al día.

$$Venta_{mensual} = 0.15 \frac{\text{soles}}{\text{paquetes}} \times 20 \frac{\text{paquetes}}{\text{minuto}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hora}} \times 4 \frac{\text{hora}}{\text{dia}} \times 24 \frac{\text{dias}}{\text{mes}}$$

$$Venta_{mensual} = S/. 17280.00$$

El costo de producción es la sumatoria de gastos del embalado de file termoencogible.

Tabla 7.7
Costo Operativos del Túnel de Termocontraído

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNIT. (S/.)	VALOR TOTAL
1	Costo de consumo de energía (Kwh)	Unid.	1104	S/. 0.78	S/. 855.71
2	Costo de mantenimiento y reparaciones	Unid.	1	S/. 35.00	S/. 35.00
3	Costo de operador de maquina	Unid.	1	S/. 1,800.00	S/. 1,800.00
4	Bobina de file termoencogible	Unid.	1	S/. 4,600.00	S/. 4,600.00
En comparación con precios de CAPECO				TOTAL	S/. 7,290.71

Nota: Costo Operativo mensual Extraído de empresa Fabricante de agua AQUA ANDINA SAC

Ganancia neta se tiene:

$$Ganancia_{neto} = 17280.00 - 7290.71.00 \text{ soles} = 9989.29 \text{ soles}$$

Calculamos el Valor Actual Neto VAN usaremos la siguiente expresión:

$$VAN = -I + \frac{F_1}{(1+i_1)} + \frac{F_1}{(1+i_1)^2} + \dots + \frac{F_1}{(1+i_1)^n} \quad (7.1)$$

$$I = \sum \left(\frac{F * C_t}{1 + TIR^t} \right) \quad (7.2)$$

Para realizar los cálculos usaremos una tasa de interés $i_1 = 10\%$

6	7	8	9	10	11	12
17280	17280	17280	17280	17280	17280	17280
S/. 7,290.71						
9989.2896	9989.2896	9989.2896	9989.2896	9989.2896	9989.2896	9989.2896

MES	0	1	2	3	4	5
Ingresos S/.		17280	17280	17280	17280	17280
Egresos S/.	S/. 29,591.49	S/. 7,290.71				
Neto S/.	-29591.488	9989.2896	9989.2896	9989.2896	9989.2896	9989.2896

De la ecuaciones (7.1 y 7.2) hallamos los valores del VAN y el TIR (Tasa de Interés de Retorno)

Tasa de Descuento Mensual	10%
VAN	38472.4525
TIR	33%

CONCLUSIONES

- Se diseñó una máquina de termocontraído con la finalidad de mejorar y optimizar la producción en el área de empaquetado en la línea de producción de una planta de agua, cumpliendo con las necesidades requeridas y adaptándose al flujo de producción requerida por una planta embotelladora; paso de embalar 3 paquetes por minuto manualmente, hasta alcanzar 20 paquetes por minuto con el uso del túnel de termocontraído el cual es el flujo de producción de esta planta, las dimensiones finales de la máquina, tiene un largo de 2700mm, 1600mm de alto y 900mm de ancho.
- Vimos diferentes metodologías de diseño las cuales se pueden orientar a lo fácil o complejo, grande o pequeño, a lo tecnológico o sencillo, también tenemos que medir el grado de inversión que se puede realizar, considerando todo esto se tiene una cantidad de variables que interviene en el desarrollo de un diseño, para ello utilizamos un modelo el cual elegimos la metodología o directriz a VDI 2221 y 2225 esta metodología nos permite tener gran variedad de alternativas de solución nos permitió evaluar 14 características, además construimos una matriz con 18 soluciones diferentes de esta forma tenemos una gran variedad de formas diferentes de dar solución a nuestro problema, después de reducir las posibilidades quedaron 4 posibles soluciones, finalmente se realizó una evaluación de criterios técnico - económico según la gráfica elegimos la solución que más se aproxima a lo ideal.
- Cuando se utiliza la pistola de calor para termoencoger la película que envuelve el paquete, su temperatura llega hasta los 350°C aproximadamente en muchos casos esta temperatura llega a deformar el file y en algunos casos las quema, pero al utilizar el túnel el flujo de termocontraído la temperatura es controlada, este trabaja con un flujo de

manera constante; el calor se distribuye sobre las áreas del paquete donde se produce la termoretracción las temperaturas de trabajo alcanzan en promedio 180°C el sistema es calentada por quemadores eléctricos con una potencia total requerida de 12kw.

- En el cálculo mecánico se tomó la decisión de trabajar con una cadena transportadora, la cadena transportadora tiene eficiencia alta sin deslizamiento, es más ligero que una banda metálica, tiene una estructura e instalación simple esta es accionada por un motor de 0.5 hp de 1750 rpm, cuenta con una reducción 1:30, por lo tanto tiene una velocidad de salida de 69 rpm. El túnel requiere un flujo de 1555 m³/h optamos por usar un inyector con una capacidad de 1800 m³/h con caída de presión de 600 Pa, finalmente se necesitan ventiladores para enfriar los paquetes, estos se ubican a la salida del túnel estos requieren un flujo de 1690 m³/h para ello usaremos un ventilador con un motor de 0.2 hp de potencia.
- Para realizar el cálculo económico dividimos en costos fijos el cual se compone de el costo total para poder construir el túnel de termocontraído esto supone el metrado de costo de materiales, metrado de costo de mano de obra, costo de maquinado o tercerizados, aquí sumamos los costos de operación consumo de energía, operador, mantenimiento, etc. El costo fijo o de la máquina es de 29500 soles, un precio bastante atractivo para esta industria, Los costos operativos son equilibrados, esto nos muestra que la máquina es económicamente rentable además al realizar el cálculo del VAN sale positivo con un TIR del 33%.

RECOMENDACIONES

- Para futuros trabajos de diseño de maquina se recomienda realizar una planificación detallada, una investigación exhaustiva a cerca del tipo de máquina, que cumpla estándares de seguridad, pruebas ajuste, documentación completa, buscar la colaboración con otras áreas de ingeniería y una buena creatividad.
- Es recomendable tener un amplio conocimiento de diferentes metodologías de diseño, esto nos permite tener una mejor visión acerca de lo que queremos tener en desarrollo, también nos permite comparar con una variedad de opciones de máquinas que se asemejan al trabajo que queremos desarrollar, es bueno conocer la tecnología antigua y también ver las nuevas tecnologías que actualmente están entrando al mercado esto para tener un panorama más amplio de lo que es el diseño de máquinas.
- Se recomienda al momento de realizar los cálculos térmicos como mecánicos, es necesario trabajar con los máximos valores de tal forma esa forma al momento de hacer las pruebas las puedes hacer con los máximos rangos de trabajo. Esto te indica hasta qué punto puede soportar la maquina ya con estos valores se puede dar una rango de trabajo optimo, donde la maquina trabaje sin esforzar demasiado el sistema, esto influencia en un mayor tiempo de vida útil de la máquina. Con esta información puedo obtener la eficiencia de la máquina y el tiempo de vida y una buena durabilidad.
- Es importante realizar las comparaciones de aspectos técnicos y económicos obtener un punto de equilibrio tratar en lo posible diseñar una máquina, con buenas prestaciones y con precios competitivos; aproximando a un costo que sea equilibrado en su adición de los precios de la máquina y los precios operativos.

Bibliografía

- Astirraga, U. J. (1995). *Hornos Industriales de Resistencias* (2da ed.). Bogota, Colombia: Mc Graw Hill.
- Barriga Gamarra, B. (2006). *Métodos de Diseño en Ingeniería Mecánica*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).
- Bonsiepe, G. (1978). *Diseño Industrial , Tecnología y dependencia*. en G. Rodríguez *manual de Diseño Industrial*. Barcelona: Edicol Mexico S.A.
- Braskem. (Febrero de 2016). *Braskem IDESA*. Recuperado el 27 de Marzo de 2020, de https://www.braskem.com.br/Portal/Idesa/arquivos/docs/BR_Catalogo2016_Pelicula_iPa d.pdf
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de Calor y Masa fundamentos y aplicaciones* (4ta ed.). Mexico: Mc Graw Hill.
- Christensen, P., & Dysert, L. (2005). *AACE Internacional (Asociación Americana de Ingeniería de Costos) 10S-90* (4 ed., Vol. 4). Miami, EEUU: AACE.
- Córdova, R. E. (2004). Tesis " Diseño de Tunel de Termoretracción, Para embalaje de Productos". Guayaquil, Ecuador.
- Crocker, M. J. (Ed.). (2007). *Handbook of Noise and Vibration Control* (Segunda ed.). USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Cross, N., Elliot, D., & Roy, R. (1982). *Diseñando el Futuro*. en G. Rodríguez, *Manual de Diseño Industrial*. Barcelona: Gustavo Gili S.A.
- Espinoza Montes, C. (2014). *Metodología de la Investigación Tecnológica - Pensando en Sistemas* (2da ed.). Huancayo: Imagen Gráfica S.A.C.

Grupo Solquim. (8 de abril de 2008). *Quiminet - Empaque, Envase y Embalaje, Plásticos*.

Recuperado el marzo de 2020, de <https://www.quiminet.com/articulos/tipos-de-poli-etileno->

[28004.htm?mkt_source=22&mkt_medium=11453060323&mkt_term=66&mkt_content=&mkt_campaign=1](https://www.quiminet.com/articulos/tipos-de-poli-etileno-28004.htm?mkt_source=22&mkt_medium=11453060323&mkt_term=66&mkt_content=&mkt_campaign=1)

Incropera, F., & De Witt, D. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (4ta ed.). Mexico: PRENTICE HALL.

Macedo Silva, A. (2010). *Vibraciones Mecánicas* (1ra ed., Vol. 1). Cusco: Talleres Rex.

Muñoz, M. L., & Villegas Ramos, E. L. (2013). *Metodología Desing Thinking Para La Innovación*. Sevilla - España: Universidad de Sevilla.

Norton, R. (2009). *Diseño de Maquinaria*. Mexico: Mc Graw Hill.

Paz, F. (18 de Octubre de 2012). *Seminario Técnico de Performance Plastic- TS&D UB&IF*.

Recuperado el marzo de 2020, de <https://cupdf.com/document/shrink-lo-ultimo-en-sustentabilidad-de-termocontraibles.html>

Perez Pozo, P., & Bermejo Campos, V. (2013). *Estudio de la Vibracion de Baja Frecuencia de motor Eléctrico*. Madrid - españa: Universidad Politecnica de Madrid.

Shiguey, J. E., & Mitchell, L. (1990). *Diseño en Ingenieria Mecánica* (4ta ed.). México: Mc Graw - Hill.

Singiresu S, R. (2012). *Vibraciones Mecánicas* (5ta ed.). Miami, Mexico, USA: Pearson Educación de México.

PLANOS

1. Ensamblaje general
2. Estructura base
3. Ensamble guardas de estructura
4. Ensamblaje túnel térmico
5. Explosión túnel de calor
6. Túnel interno ranurado
7. Cubierta interior
8. Tapa superior entradas de túnel
9. Ensamblaje enfriador
10. Explosión túnel de enfriamiento
11. Ensamblaje sistema de transmisión
12. Faja transportadora
13. Túnel de termocontraído

APENDICE

APENDICE A

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: "Diseño de un Sistema de Termocontraído, para Optimizar la Producción en la Línea de Empaquetado, Dentro de una Planta Embotelladora de Agua"

DEFINICIÓN DE PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA	TIPO NIVEL Y DISEÑO DE INVESTIGACION
Problema General	objetivo general	hipótesis general	variable		Tipo: Investigación aplicativa
¿Cómo realizar el diseño de un equipo de termocontraído para optimizar la producción en la etapa de empaquetado de botellas de agua en la línea de producción de una planta embotelladora?	Calcular y diseñar una máquina de termocontraído para mejorar y optimizar la producción en la zona de empaquetado en la línea de producción de la planta embotelladora de agua (CAP. 2)	El cálculo y diseño de un túnel de termocontraído nos permite tener información necesaria para una posterior construcción del túnel de termocontraído, esto para poder solucionar una problemática que se tiene dentro de la empresa de embotellado.	Variables independientes. Dimensiones del paquete (m^3), peso del paquete (Kg) Flujo de carga (Kg/s) Variable dependiente. Diseño del túnel de termocontraído		

APENDICE B

Problemas Específicos	objetivos específicos	hipótesis específicos			
PE1 ¿Es posible usar una metodología de diseño, selección de equipos, herramientas, materiales para usarlos en la construcción de un túnel de termocontraído?	Aplicar la metodología de diseño VDI. Para analizar y determinar el tipo y componentes mostrados en una matriz de alternativas, valorando la mejor opción técnica de equipamiento bajo consideraciones cuantitativas. (CAP. 3)	El uso de la metodología de diseño VDI permitirá determinar los tipos de componentes del equipo que mejor se adecuen a la necesidad planteada.	Variable independiente. Proceso de diseño mediante fases Variable dependiente. Concepto de solución cumpliendo la metodología, Matriz morfológica y Evaluación técnica y económica.	Cualitativo	Nivel: Exploratoria, descriptiva correlacional.
PE2 ¿Es posible determinar los parámetros térmicos para el diseño de un túnel de termocontraído?	Determinar los parámetros térmicos e hidráulicos que permiten el proceso de termo contracción plástica, dentro del túnel de termocontraído. (CAP. 4)	El análisis de los parámetros hidráulicos y térmicos permitirá definir las condiciones del proceso de termo contracción plástica dentro túnel de trabajo.	Variable independiente. Flujo de aire (m3/s), Temperatura (°C), Potencia Térmica (Joule) Variable dependiente. Resistencia térmica, Inyección de aire, Aislamiento térmico.		Diseño: No experimental
PE3 ¿Es posible determinar los parámetros mecánicos para el diseño de un túnel de termocontraído?	Determinar los parámetros de diseño mecánico para el funcionamiento de la faja transportadora, dimensionamiento adecuado de la estructura que soporta todo el túnel de termocontraído. (CAP.5)	El diseño mecánico determinará el dimensionamiento, la estructura, y funcionamiento mecánico del túnel de termocontraído.	Variable independiente. Potencia (Kw) Velocidad flujo de aire (cfm, RPM) Variable dependiente. Faja transportadora, Ventiladores, Estructura que soporta el equipo		
PE4 ¿En qué medida es posible realizar las especificaciones técnicas de materiales y fabricación del túnel de termocontraído?	Desarrollar las especificaciones técnicas de fabricación para el proceso de construcción de túnel de termocontraído. (CAP. 6)	Al desarrollar las especificaciones técnicas permitirá definir los procesos de construcción del túnel siguiendo un proceso, de selección de materiales, fabricación, montaje y funcionamiento de equipo.	Variable independiente. Materiales y equipos Variable dependiente. Procesos de construcción Fabricación y montaje		
PE5 ¿De qué manera se puede evaluar el impacto de los costos de fabricación y operación al utilizar un equipo de termocontraído?	Efectuar un comparativo de las ventajas económicas que tiene la construcción de un túnel de termocontraído frente a uno importado. (CAP. 7)	El impacto económico de la máquina a construir permitirá determinar su nivel de rentabilidad a lo largo del tiempo.	Variable independiente. Costos de fabricación, fijos y variables. Variable dependiente. Costo de instalación der maquina Costo de operatividad de la máquina		

APENDICE C

Propiedades para Polietileno - Alta Densidad Película Termorretráctil

Propiedades Físicas	
Absorción de Agua - en 24 horas	(%) <0,01
Densidad	(g cm-3) 0,95
Índice de Oxígeno Límite	(%) 17
Índice Refractivo	1,54
Inflamabilidad	HB
Resistencia a la Radiación	Aceptable
Resistencia a los Ultra-violetas	Mala
Propiedades Térmicas	
Calor Específico Cp (J /Kg °K)	1900
Coefficiente de Expansión Térmica (x10-6 K-1)	100-200
Conductividad Térmica a 23C (W m-1 K-1)	0,45-0,52
Temperatura de Deflexión en Caliente - 0.45MPa (C)	75
Temperatura de Deflexión en Caliente - 1.8MPa (C)	46
Temperatura Máxima de Utilización (C)	55-120
Propiedades termo físicas	
Calor conducido (K) W/m°K	0.25

Fuente: Polietileno - Alta Densidad Película ET321010 - Goodfellow Catálogo

APENDICE D

Datos técnicos del PET

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	1,34 – 1.49
Resistencia a la tensión	MPa	59 – 72
Resistencia a la compresión	MPa	76 – 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0.01 – 0.04
Calor conducido	W/m °K	1250
Dilatación térmica	10 ⁻⁴ / °C	15.2 – 24
Resistencia al calor	°C	90 – 140
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 – 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	--	3.65
Absorción de agua (24 h)	%	0.02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento

Calor Específico	J/Kg °K	1250
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

Fuente: *Industria del Plástico. Plástico Industrial. Richardson & Lokensgard.*

APENDICE E

Propiedades del agua saturada

Temperatura, T (K)	Presión P (bars) ^b	Volumen específico (m ³ /kg)		Entalpia de vaporización h_{fg} (kJ/kg)	Calor específico (kJ/kg · K)		Viscosidad (N · s/m ²)		Conductividad térmica (W/m · K)		Número de Prandtl		Tensión superficial $\alpha_f \cdot 10^3$ (N/m)	Coeficiente de expansión $\beta_f \cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Temperatura T (K)
		$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385

Fuente: *Fundamentos de Transferencia de Calor, Frank Incropera*

APENDICE F

Propiedades termo físicas del aire a presión atmosférica

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

Fuente: *Fundamentos de Transferencia de Calor, Frank Incropera*

APENDICE G

Diferencia de la distribución de la temperatura del paquete (carga) a través del tiempo.

p	t(seg)	Tpolie (°C)	TPET(°C)	Taire(°C)	Tagua(°C)
1	0.074	13	13	13	13
2	0.362	13.89	13.84	13	13.00
3	0.65	14.78	14.68	13.055	13.00
4	0.938	15.67	15.52	13.11	13.01
5	1.226	16.56	16.36	13.165	13.01
6	1.514	17.45	17.2	13.22	13.01
7	1.802	18.34	18.04	13.275	13.01
8	2.09	19.23	18.88	13.33	13.02
9	2.378	20.12	19.72	13.385	13.02
10	2.666	21.01	20.56	13.44	13.02
11	2.954	21.9	21.4	13.495	13.02
12	3.242	22.79	22.24	13.55	13.03
13	3.53	23.68	23.08	13.605	13.03
14	3.818	24.57	23.92	13.66	13.03
15	4.106	25.46	24.76	13.715	13.03
16	4.394	26.35	25.6	13.77	13.03
17	4.682	27.24	26.44	13.825	13.04
18	4.97	28.13	27.28	13.88	13.04
19	5.258	29.02	28.12	13.935	13.04
20	5.546	29.91	28.96	13.99	13.04
21	5.834	30.8	29.8	14.045	13.05
22	6.122	31.69	30.64	14.1	13.05
23	6.41	32.58	31.48	14.155	13.05
24	6.698	33.47	32.32	14.21	13.05
25	6.986	34.36	33.16	14.265	13.06
26	7.274	35.25	34	14.32	13.06
27	7.562	36.14	34.84	14.375	13.06
28	7.85	37.03	35.68	14.43	13.06
29	8.138	37.92	36.52	14.485	13.06
30	8.426	38.81	37.36	14.54	13.07
31	8.714	39.7	38.2	14.595	13.07
32	9.002	40.59	39.04	14.65	13.07
33	9.29	41.48	39.88	14.705	13.07
34	9.578	42.37	40.72	14.76	13.08
35	9.866	43.26	41.56	14.815	13.08
36	10.154	44.15	42.4	14.87	13.08
37	10.442	45.04	43.24	14.925	13.08

38	10.73	45.93	44.08	14.98	13.09
39	11.018	46.82	44.92	15.035	13.09
40	11.306	47.71	45.76	15.09	13.09
41	11.594	48.6	46.6	15.145	13.09
42	11.882	49.49	47.44	15.2	13.09
43	12.17	50.38	48.28	15.255	13.10
44	12.458	51.27	49.12	15.31	13.10
45	12.746	52.16	49.96	15.365	13.10
46	13.034	53.05	50.8	15.42	13.10
47	13.322	53.94	51.64	15.475	13.11
48	13.61	54.83	52.48	15.53	13.11
49	13.898	55.72	53.32	15.585	13.11
50	14.186	56.61	54.16	15.64	13.11
51	14.474	57.5	55	15.695	13.12
52	14.762	58.39	55.84	15.75	13.12
53	15.05	59.28	56.68	15.805	13.12
54	15.338	60.17	57.52	15.86	13.12
55	15.626	61.06	58.36	15.915	13.12
56	15.914	61.95	59.2	15.97	13.13
57	16.202	62.84	60.04	16.025	13.13
58	16.49	63.73	60.88	16.08	13.13
59	16.778	64.62	61.72	16.135	13.13
60	17.066	65.51	62.56	16.19	13.14
61	17.354	66.4	63.4	16.245	13.14
62	17.642	67.29	64.24	16.3	13.14
63	17.93	68.18	65.08	16.355	13.14
64	18.218	69.07	65.92	16.41	13.14
65	18.506	69.96	66.76	16.465	13.15
66	18.794	70.85	67.6	16.52	13.15

Fuente: *Creación Propia a Partir de Calculo*

APENDICE H

Propiedades de materiales metálicos para maquinas

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K)							
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)/ c_p (J/kg · K)							
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500
Acero puro	1810	7870	447	80.2	23.1	134 216	94.0 384	69.5 490	54.7 574	43.3 680	32.8 975	28.3 609	32.1 654
Aceros al carbón													
Carbón ordinario (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%)		7854	434	60.5	17.7			56.7 487	48.0 559	39.2 685	30.0 1169		
AISI 1010		7832	434	63.9	18.8			58.7 487	48.8 559	39.2 685	31.3 1168		
Carbón-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			49.8 501	44.0 582	37.4 699	29.3 971		
Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		8131	434	41.0	11.6			42.2 487	39.7 559	35.0 685	27.6 1090		
Aceros con cromo (bajo)													
1 Cr-1 Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7822	444	37.7	10.9			38.2 492	36.7 575	33.3 688	26.9 969		
1 Cr-1 Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7858	442	42.3	12.2			42.0 492	39.1 575	34.5 688	27.4 969		
1 Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7836	443	48.9	14.1			46.8 492	42.1 575	36.3 688	28.2 969		
Aceros inoxidables													
AISI 302		8055	480	15.1	3.91			17.3 512	20.0 559	22.8 585	25.4 606		
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95	9.2 272	12.6 402	16.6 515	19.8 557	22.6 582	25.4 611	28.0 640	31.7 682
AISI 316		8238	468	13.4	3.48			15.2 504	18.3 550	21.3 576	24.2 602		
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			15.8 513	18.9 559	21.9 585	24.7 606		

APENDICE I

Propiedades de aislamiento térmico industrial

Descripción/ composición	Temperatura máxima de servicio (K)	Densidad típica (kg/m ³)	Conductividad térmica típica, k (W/m · K), a varias temperaturas (K)													
			200	215	230	240	255	270	285	300	310	365	420	530	645	750
Mantas																
Manta, fibra mineral de metal reforzada	920	96-192									0.038	0.046	0.056	0.078		
Manta, fibra mineral, vidrio; fibra fina, unión orgánica	815	40-96									0.035	0.045	0.058	0.088		
	450	10				0.036	0.038	0.040	0.043	0.048	0.052	0.076				
		12				0.035	0.036	0.039	0.042	0.046	0.049	0.069				
		16				0.033	0.035	0.036	0.039	0.042	0.046	0.062				
		24				0.030	0.032	0.033	0.036	0.039	0.040	0.053				
		32				0.029	0.030	0.032	0.033	0.036	0.038	0.048				
		48				0.027	0.029	0.030	0.032	0.033	0.035	0.045				
Manta, fibra de óxido de silicio-alúmina	1530	48												0.071	0.105	0.150
		64												0.059	0.087	0.125
		96												0.052	0.076	0.100
		128												0.049	0.068	0.091
Filtro, semirrígido:	480	50-125							0.035	0.036	0.038	0.039	0.051	0.063		
fieltro de unión orgánica laminado;	730	50	0.023	0.025	0.026	0.027	0.029	0.030	0.032	0.033	0.035	0.051	0.079			
sin unión	920	120												0.051	0.065	0.087
Aislantes de bloques, tableros y tubería																
Papel asbestino, laminado y corrugado																
4-pliegues	420	190									0.078	0.082	0.098			
6-pliegues	420	255									0.071	0.074	0.085			
8-pliegues	420	300									0.068	0.071	0.082			
Óxido de magnesio,	590	185									0.051	0.055	0.061			
Silicato de calcio	920	190									0.055	0.059	0.063	0.075	0.089	0.104

APENDICE J

Valor de la constante de fricción (c)

Coeficiente c en dependencia de la longitud de transporte l								
l [m]	3	10	20	25	50	80	100	160
c	9	4,5	3,2	2,9	2,2	1,85	1,74	1,53
l [m]	200	320	500	1000	2000			
c	1,45	1,29	1,19	1,10	1,05			

Fuente: *Diseño de Ingeniería Mecánica, Shiguey, Daryl (1990)*

APENDICE K

Valor de la constante de fricción (f)

VALOR FACTOR FRICCIÓN (CATALOGO MORSE)

Condition	Dry	Lubricated
Static*	0.33	0.24
Sliding	0.27	0.21

Fuente: *Catalogo morse*

APENDICE L

Factor de Servicio De Catalogo Martin

(CATALOGO MARTIN)

Carga Uniforme

Agitadores, Líquido	Generadores
Sopladores, Centrífugos	Ejes de Línea, Carga Uniforme
Transportadores, Carga Uniforme	Máquinas, Carga Uniforme No-Reversible
Elevadores, Carga Uniforme	Bombas, Centrífugas
Ventiladores, Centrífugos	

Carga de Choque Moderado

Agitadores	Ejes de Línea, Carga Irregular
Compresoras, Centrífugas	Máquinas, Carga Pulsante, No-Reversible
Transportadores, Carga Irregular	Bombas, Recíprocas, Triplex
Elevadores, Carga Irregular	Pantallas, Rotativas, Carga Uniforme
Molinos, Hornos Pulpa y Secadoras	Maquinaria para trabajo en Madera
Lavandería, Lavadoras y Secadoras	

Carga de Choque Pesado

Máquinas para Ladrillos	Molinos, Martillo, Laminador o Tirante
Compresores Recíprocos	Prensas
Trituradores	Bombas, Recíprocas, Simplex o Duplex
Máquinas, Cargas Reversibles o de Impacto	

CLASIFICACION DE SERVICIO	TIPO DE PODER DE ENTRADA		
	Motor de Combustión Interna con Transmisión Hidráulica	Motor Eléctrico o Turbina	Motor de Combustión Interna con Transmisión Mecánica
Carga Uniforme	1.0	1.0	1.2
Carga de Shock Moderado	1.2	1.3	1.4
Carga de Shock Pesado	1.4	1.5	1.7

APENDICE M

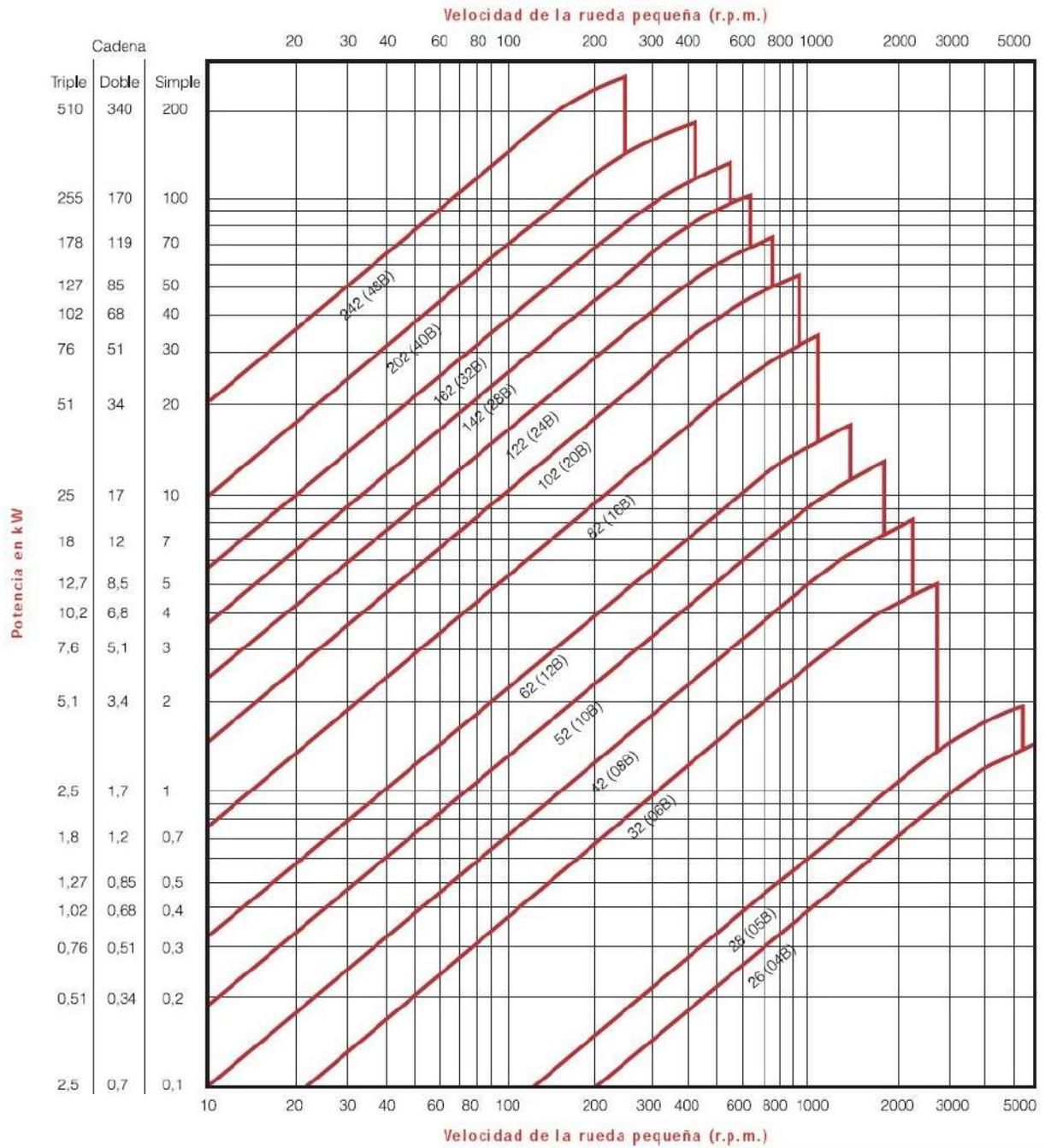
Clasificación de cargas según su aplicación y uso. Para transporte de rodillos

CLASIFICACION DE CARGAS

Aplicaciones	Clase de Carga	Aplicaciones	Clase de Carga
AGITADORES Líquidos puros Semi-líquidos Densidad variable	Uniforme Variable Variable	Trensores de fieltro Calandras Prensas Enrolladoras	Variable Choque Choque Choque
ASCENSORES Tipos similares a los transportadores Montacargas De personas	Variable Variable Choque	LAVADORAS Y BOMBOS DE LAVAR	Variable
BOMBAS Centrifugas Rotativas y de engranajes (densidad constante) (densidad variable) Alternativas con descarga libre Alternativas de cilindros múltiples o doble efecto Alternativas de cilindro único	Variable Uniforme Variable Uniforme Variable Choque	MAQUINA DE ENVASAR	Uniforme
COMPRESORES Centrifugos Lobulados Alternativas de cilindros múltiplos con volante adecuado Alternativas de cilindro único	Uniforme Variable Variable Choque	MAQUINAS HERRAMIENTAS Prensas de embutir Cizallas Planeadoras Movimientos principales Movimientos auxiliares (alimentadoras, avances, etc)	Choque Choque Choque Variable Uniforme
CRIBAS Rotativas (arena o piedra) Alternativas	Variable Variable	MAQUINAS PARA INDUSTRIA TEXTIL Trenes de levado Calandras Cardas Máquina para tintorería Telares Batanes Continuas	Variable Variable Variable Variable Variable Variable Variable
DRAGAS Tambor del cable Transportadores Bombas A piladores Montacargas Cribas Cangilones	Variable Variable Variable Variable Variable Choque Choque	MEZCLADORAS Densidad constante Densidad irregular De hormigón	Uniforme Variable Variable
GRUAS De pescante giratorias Movimiento de translación Movimiento del tambor	Uniforme Uniforme Variable Choque	MÓLINOS (tipos rotativos) De bolas De martillo De rodillos Para cemento	Choque Choque Choque Variable
INDUSTRIA DE LA ALIMENTACION Mezcladoras Amasadoras Batidoras Picadoras de carne	Variable Variable Variable Variable	TRANSMISIONES Para máquinas de equipo industrial Movimiento de subgrupos Transmisiones secundarias	Variable Variable Uniforme
INDUSTRIA DEL CAUCHO Mezcladoras Calandras para goma Maquinaria para neumáticos Limadoras	Choque Choque Choque Variable	TRANSPORTADORES (para cargas pesadas y no uniformes) De rasquetas o cangilones De corres De cubos Elevadores De rodillos Para hornos Alternativos Por sacudidas Tornillos	Variable Variable Variable Variable Variable Variable Choque Choque Choque
INDUSTRIA DE METAL Bancos de estirar Prensas de estampar Cortadores	Choque Choque Choque	TRITURADORES De mineral De piedra	Variable Variable

APENDICE N

Grafica para la determinación de cadenas según Norma ISO 606



Fuente: *Catálogo de Joresa, Norma ISO 606 Europea*

APENDICE Ñ

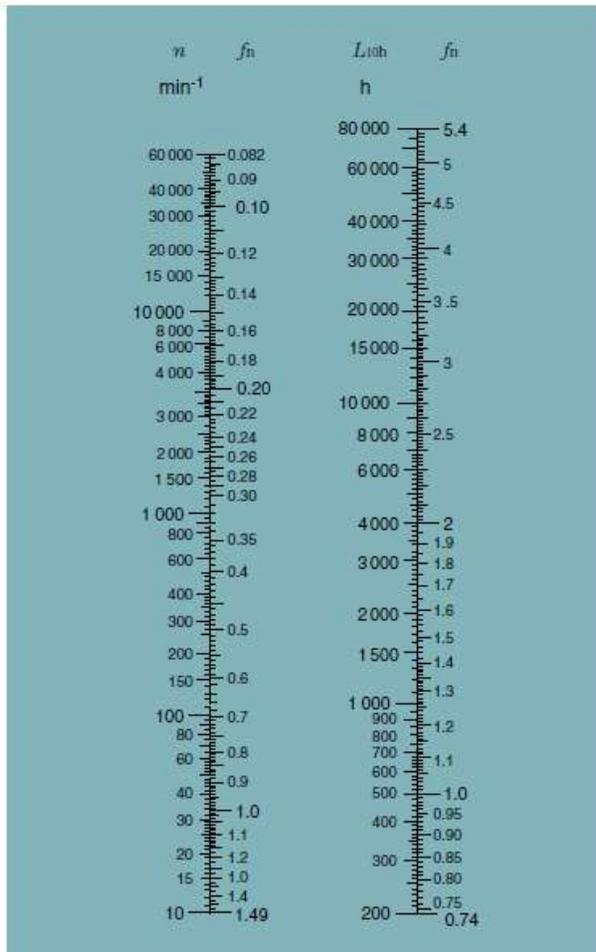
Tabla para Selección de rodamientos vida requerida.

Clasificación del servicio	Aplicaciones en maquinarias y vida requerida (referencia) L_{10h} $\times 10^3$ h				
	~4	4~12	12~30	30~60	60~
Máquinas usadas por periodos cortos q utilizadas sólo ocasionalmente.	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones domésticas • Herramientas de mano eléctricas 	<ul style="list-style-type: none"> • Maquinaria agrícola • Equipos de oficina 			
Utilización durante periodos cortos e intermitentemente, pero con requerimientos de alta confiabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos médicos • Instrumentos de medición 	<ul style="list-style-type: none"> • Motores de acondicionadores de aire residenciales • Equipos de construcc. • Elevadores • Grúas 	<ul style="list-style-type: none"> • Grúas (Poleas) 		
Máquinas que no se usan constantemente, pero se utilizan por periodos largos.	<ul style="list-style-type: none"> • Automobiles • Vehículos de dos ruedas 	<ul style="list-style-type: none"> • Motores pequeños • Buses/camiones • Transmisiones de engranes en general • Máquinas madereras 	<ul style="list-style-type: none"> • Husillos de máquinas • Motores industriales • Trituradores • Cribas vibratorias 	<ul style="list-style-type: none"> • Transmisiones de engranes principales • Máquinas de caucho/plástico • Rodillos de calandrias • Máquinas de impresión 	
Máquinas en constante uso durante las 8 horas del día.		<ul style="list-style-type: none"> • Laminadores • Escaleras eléctricas • Transportadores • Centrifugas 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejes de vehiculos ferroviarios • Acondicionadores de aire • Motores grandes • Centrifugas 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejes de locomotoras • Motores de tracción • Elevadores mineros • Volantes a presión 	<ul style="list-style-type: none"> • Máquinas de fabricación de papel • Equipos de propulsión para barcos
24 horas de operación continua, no interrumpible.					<ul style="list-style-type: none"> • Equipos de abastecimiento de agua • Bombas de drenaje/ventiladores para minería • Equipos para generación de potencia

Fuente: *Tabla para rodamientos vida requerida del catálogo NTN*

APENDICE O

Escala para el Cálculo de la vida nominal básica de una chumacera.

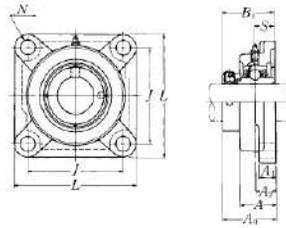


Fuente: *Catálogo NTN Chumaceras*

APENDICE P

Chumacera tipo brida cuadrada.

Chumacera Tipo brida cuadrada, alojamiento de acero fundido
Con anillo de fijación excéntrico



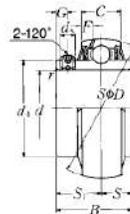
Diámetro del eje mm pulg.	Número ¹⁾ de la chumacera	Dimensiones nominales									Tamaño del perno mm pulg.	Número del rodamiento
		mm					pulg.					
		L	J	As	Ai	A	N	Ae	Bi	S		
20 3/4	UELFU204D1W3 UELFU204-012D1W3	86 3 3/8	63.5 2 1/2	19 3/4	15 1 9/32	20.5 1 5/32	11.5 2 3/64	45.6 1 5/64	43.7 1.720	17.1 0.673	M10 3/8	UEL204D1W3 UEL204-012D1W3
25 13/16 7/8 15/16	UELFU205D1W3 UELFU205-013D1W3 UELFU205-014D1W3 UELFU205-015D1W3	96 3 3/32	70 2 3/4	19 3/4	15 1 9/32	30 1 3/16	11.5 2 3/64	45.9 1 13/16	44.4 1.748	17.45 0.687	M10 3/8	UEL205D1W3 UEL205-013D1W3 UEL205-014D1W3 UEL205-015D1W3
1	UELFU205-100D1W3											UEL205-100D1W3

Fuente: *Catalogo NTN Chumaceras*

APENDICE Q

Rodamiento de bolas con prisionero.

Rodamientos de bolas
Tipo con tornillo de fijación (Prisionero)



Diámetro del eje mm pulg.	Número del rodamiento	Dimensiones nominales										
		d	D	B	C	mm r _s min.	S	pulg. S ₁	C	ds	da	F
12 1/2	UC201D1 UC201-008D1	12 0.5000	47 1.8504	31 1.2205	17 0.6693	0.6 0.024	12.7 0.500	18.3 0.720	4.5 0.177	M5 X 0.8 No.10-32UNF	29.6 1.1654	4.7 0.185
15 9/16 5/8	UC202D1 UC202-009D1 UC202-010D1	15 0.5625 0.6250	47 1.8504	31 1.2205	17 0.6693	0.6 0.024	12.7 0.500	18.3 0.720	4.5 0.177	M5 X 0.8 No.10-32UNF	29.6 1.1654	4.7 0.185
17 1 1/8	UC203D1 UC203-011D1	17 0.6875	47 1.8504	31 1.2205	17 0.6693	0.6 0.024	12.7 0.500	18.3 0.720	4.5 0.177	M5 X 0.8 No.10-32UNF	29.6 1.1654	4.7 0.185
20 3/4	UC204D1 UC204-012D1	20 0.7500	47 1.8504	31 1.2205	17 0.6693	1 0.039	12.7 0.500	18.3 0.720	4.5 0.177	M5 X 0.8 No.10-32UNF	29.6 1.1654	4.7 0.185

Fuente: *Catalogo NTN Chumaceras*

APENDICE R

Factor de servicio de motoreductor Fama.

COEFICIENTES DE SERVICIO

Horas Trabajo	Carga uniforme	Carga variable	Carga con choque
3 - 4	0.8 - 1.0	1.0 - 1.2	1.5 - 1.8
8 - 10	1.0 - 1.2	1.2 - 1.4	1.8 - 2.1
24	1.2 - 1.4	1.5 - 1.8	2.0 - 2.4

Arranques hora	Coef.
5	1.0
25	1.2
100	1.4
500	1.6
1000	1.8

Fuente: *Catálogo FAMA motoreductores*

APENDICE S

Relación de entrada y salida de motoreductor

relac. R=1		rpm salid.	Tamaño 45			Tamaño 60			Tamaño 80			Tamaño 90			Tamaño 102		
F	Real		Kw ₁	Cv ₁	Nm	Kw ₁	Cv ₁	Nm	Kw ₁	Cv ₁	Nm	Kw ₁	Cv ₁	Nm	Kw ₁	Cv ₁	Nm
7.5	7.3	239	1.5	2.0	48	2.5	3.3	87	3.4	4.5	119	4.3	5.8	156	7.3	9.9	255
10	10.3	169	0.7	1.0	33	2.2	3.0	103	2.8	3.8	137	4.1	5.5	191	6.0	8.1	302
12.5	12.3	142	0.7	0.9	34	1.8	2.4	96	2.8	3.8	161	3.8	5.2	209	5.6	7.6	333
15	15.5	113	0.6	0.8	35	1.3	1.8	88	2.4	3.3	170	3.4	4.5	227	5.1	6.9	374
20	20.5	85	0.4	0.6	32	0.9	1.2	73	2.2	3.0	193	3.4	4.5	290	4.8	6.4	449
25	25.5	69	0.4	0.6	37	0.8	1.1	82	2.0	2.7	198	3.1	4.2	317	4.0	5.4	458
30	30.5	57	0.4	0.6	41	0.8	1.1	90	1.8	2.4	208	2.7	3.7	317	3.7	4.9	484
35	35	50	0.4	0.5	40	0.7	1.0	91	1.7	2.2	220	2.5	3.4	324	3.4	4.6	504
40	40	44	0.4	0.5	43	0.7	1.0	104	1.5	2.0	216	2.3	3.1	323	3.0	4.1	493
45	45	39	0.3	0.5	43	0.7	0.9	103	1.3	1.7	201	2.0	2.6	302	2.6	3.5	465
50	50	35	0.3	0.4	39	0.6	0.8	96	1.1	1.5	185	1.7	2.3	280	2.2	3.0	413
60	60	29	0.2	0.3	36	0.5	0.7	87	1.0	1.3	182	1.5	2.0	264	1.9	2.6	407
70	70	26	0.2	0.2	23	0.4	0.5	71	0.8	1.1	168	1.2	1.6	238	1.5	2.0	342

Las potencias indicadas son para una velocidad de entrada de 1750 r.p.m. par torsor (torque) de 1 Nm = 0.1 Kpm.

Fuente: *Catálogo FAMA pág. 15*

APENDICE T

Turbinas centrifuga



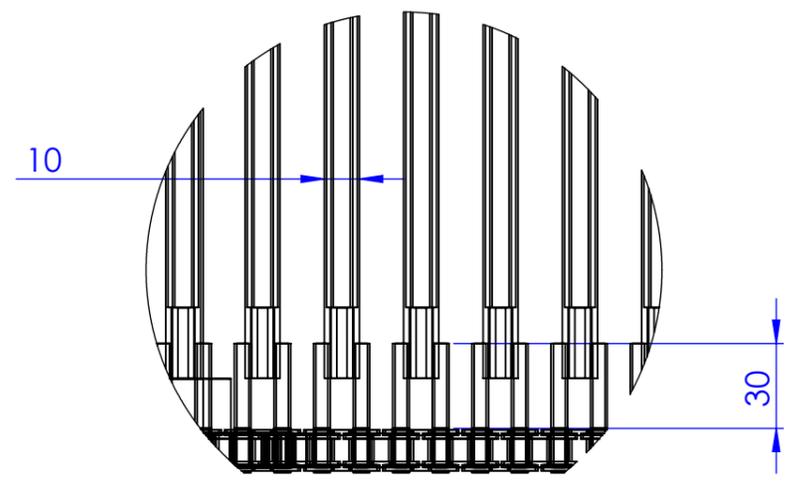
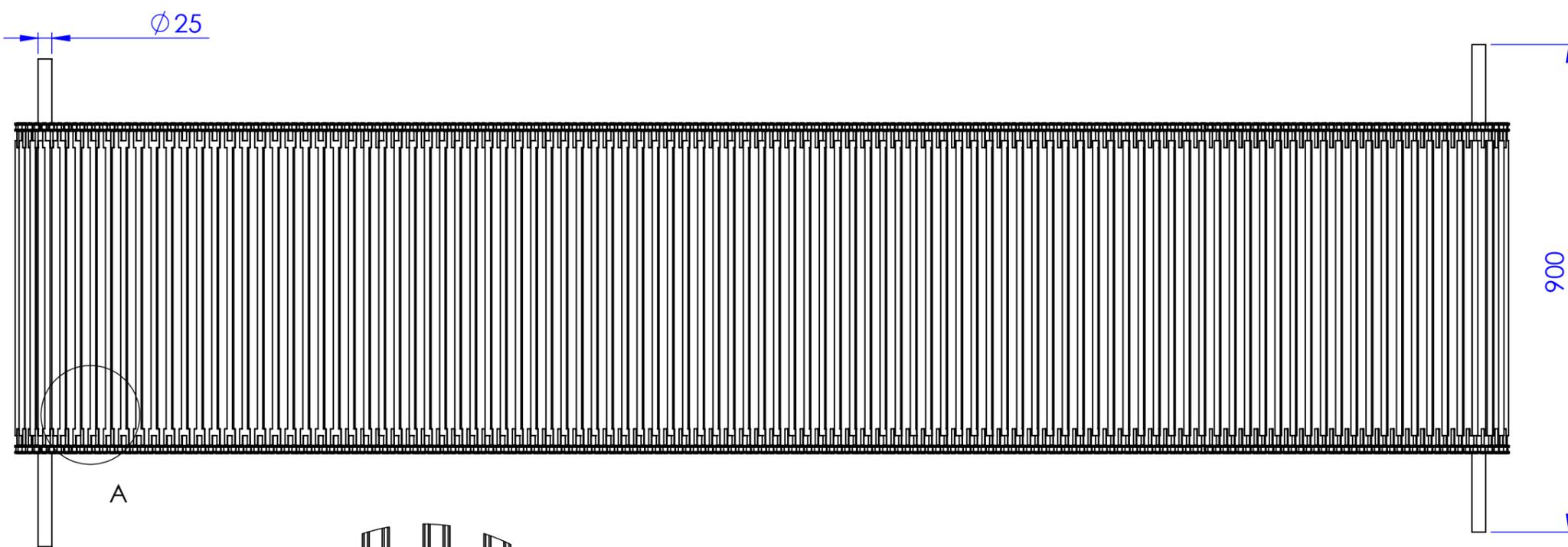
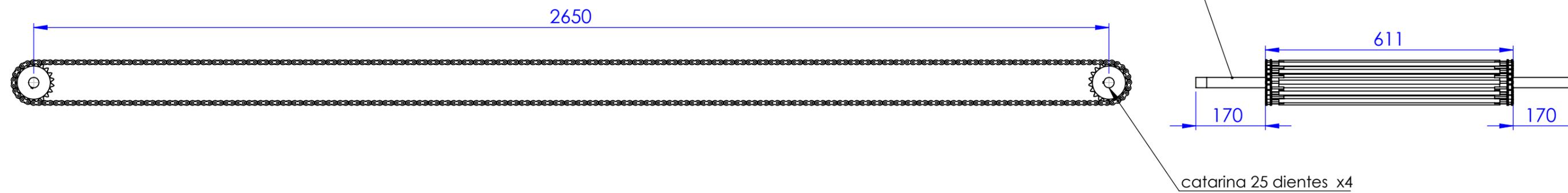
Modelo	Velocidad	Punto de máximo rendimiento a					
	máxima rpm	3000 rpm m3/h	Pa	1500 rpm m3/h	Pa	1000 rpm m3/h	Pa
SE 120x60	6300	0350	0500	0180	0110	-	-
SE 133x60	5100	0500	0700	0240	0150	-	-
SE 140x60	4800	0600	0750	0300	0180	-	-
SE 146x70	4600	0750	0800	0350	0200	0220	070
SE 160x62	4700	0800	0900	0400	0230	0250	110
SE 180x72	4250	1300	1200	0600	0300	0400	150
SE 200x82	3820	1600	1500	0750	0400	0500	150
SE 225x92	3400	2500	1900	1200	0500	0800	220
SE 250x102	3050	3000	2000	1800	0600	1000	250
SE 280x114	2730	-	-	2400	0700	1500	350
SE 315x128	2420	-	-	3100	1000	2200	500
SE 355x143	2100	-	-	5000	1300	3200	600
Modelo		1000 rpm		750 rpm		500 rpm	
SE 400x163	1900	07000	1500	04500	0700	02200	0180
SE 450x183	1700	10000	2000	07000	1000	03200	0220
SE 500x204	1490	10000	1300	07000	0600	04500	0300
SE 560x229	1210	12000	1400	09500	0800	06000	0350
SE 630x254	1100	16000	1700	13000	1100	09500	0500
SE 710x284	0850	-	-	20000	1200	14000	0600
SE 800x319	0790	-	-	28000	1700	19000	0800
SE 900x359	0690	-	-	-	-	28000	1000
SE 1000x404	0600	-	-	-	-	35000	1100

APENDICE U

Ventiladores para enfriamiento tipo axial

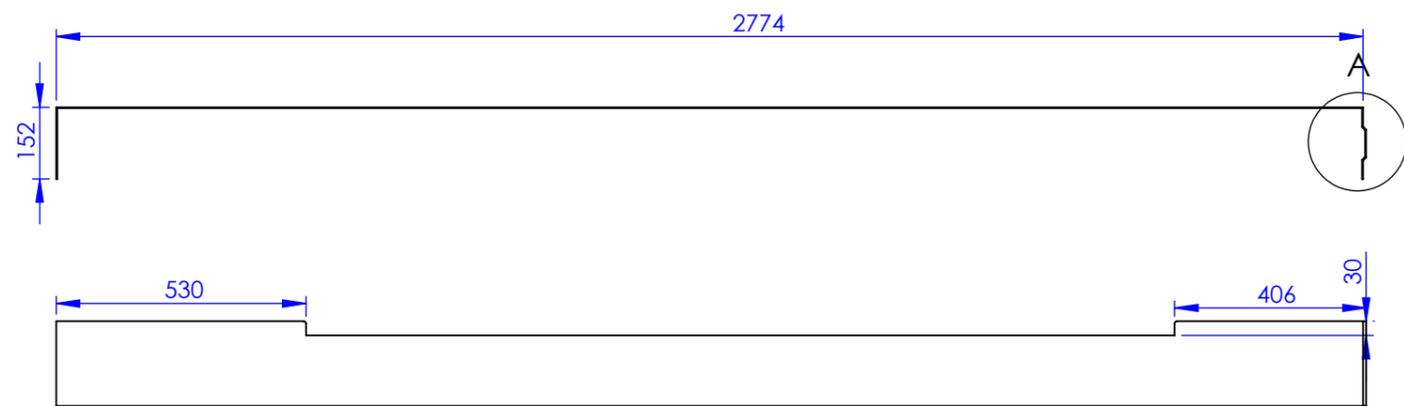
VENTILADORES DE ENFRIAMIENTO

	Diámetro Hélice [mm]	D [mm]	Dirección de Flujo del Aire.	Alimentación Volt/Fase/Hz	Potencia W	Consumo [Amperes]	Velocidad RPM	Caudal Aire m ³ /h
2	250	300	(V) Aspirante	220/1/50-60	72	0.53	1400	870
1	300	360	(V) Aspirante	220/1/50-60	95	0.44	1350	1690
8	300	360	(A) Impelente	220/1/50-60	73	0.32	1390	1885
8	315	375	(V) Aspirante	220/1/50-60	102	0.52	1410	2440
16	350	422	(V) Aspirante	220/1/50-60	140	0.62	1390	2850
16	350	422	(A) Impelente	220/1/50-60	130	0.58	1400	3110
18	350	422	(V) Aspirante	380/3/50-60	115	0.33	1420	3140
16	400	470	(V) Aspirante	220/1/50-60	160	0.71	1360	3710
16	400	470	(V) Aspirante	380/3/50-60	160	0.39	1400	3770
12	400	470	(V) Aspirante	380/3/50-60	135	0.44	1450	4000

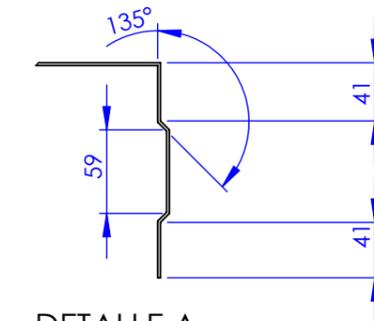


DETALLE A
ESCALA 1 : 2.5

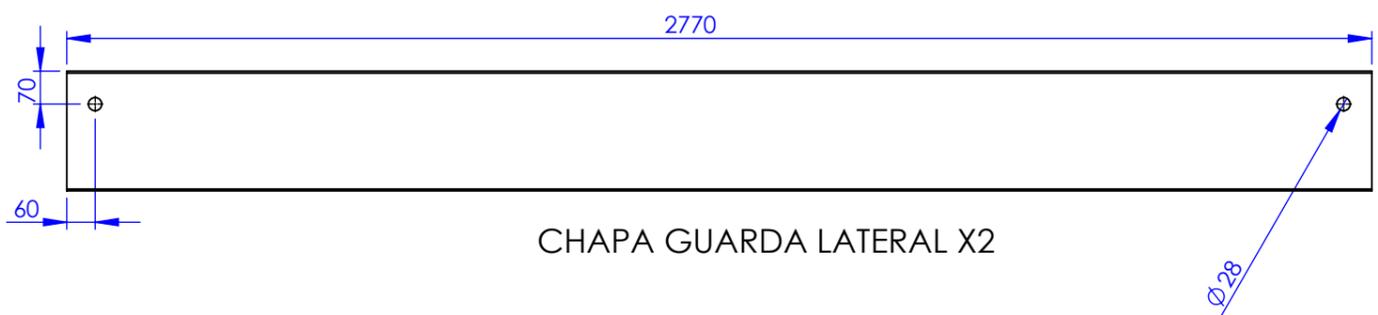
 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE ING MECANICA</p>		<p>TÍTULO: Diseño de un sistema de termocontraido, para optimizar la produccion en la linea de empaquetado, dentro de una planta embotelladora de agua</p>	
<p>EMPRESA:</p>		<p>PLANO: Faja Transportadora</p>	
<p>ASESOR: ING. DR. EDGAR CATAORA ACEVEDO</p>		<p>DISEÑADO POR: Bach. Paul R. Yucra Cana.</p>	
<p>MATERIAL: Acero inox calidad 304</p>		<p>UNIDADES: mm</p>	<p>ESCALA: 1:10</p>
		<p>HOJA 1 DE 12</p>	
		<p>A3 06/01/2024</p>	



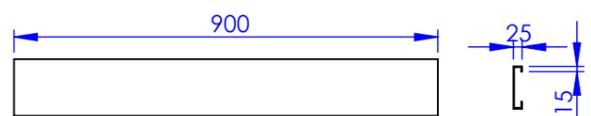
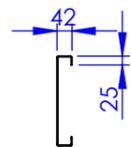
CHAPA GUARDA SUPERIOR X2



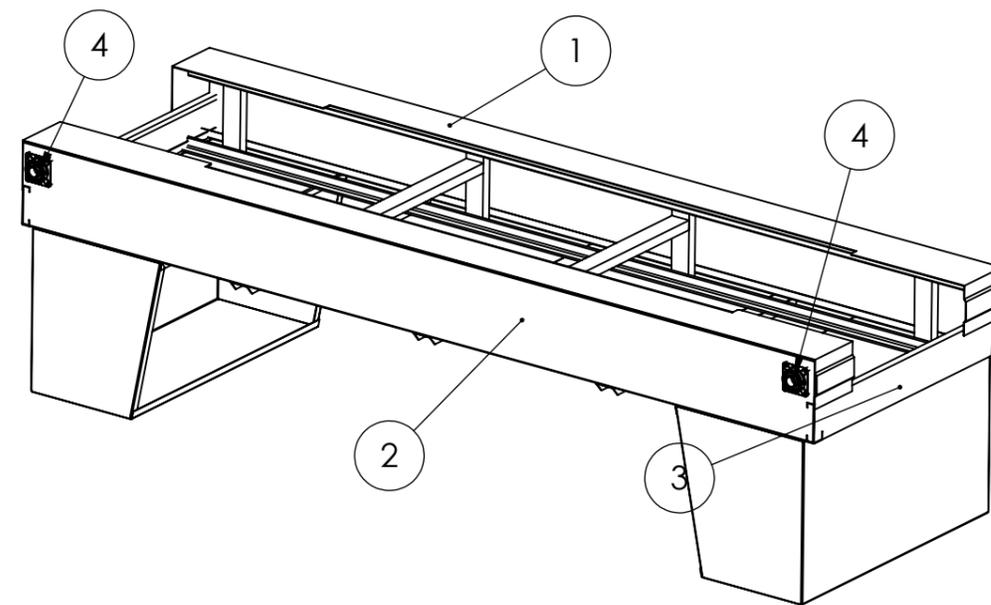
DETALLE A
ESCALA 1 : 5



CHAPA GUARDA LATERAL X2



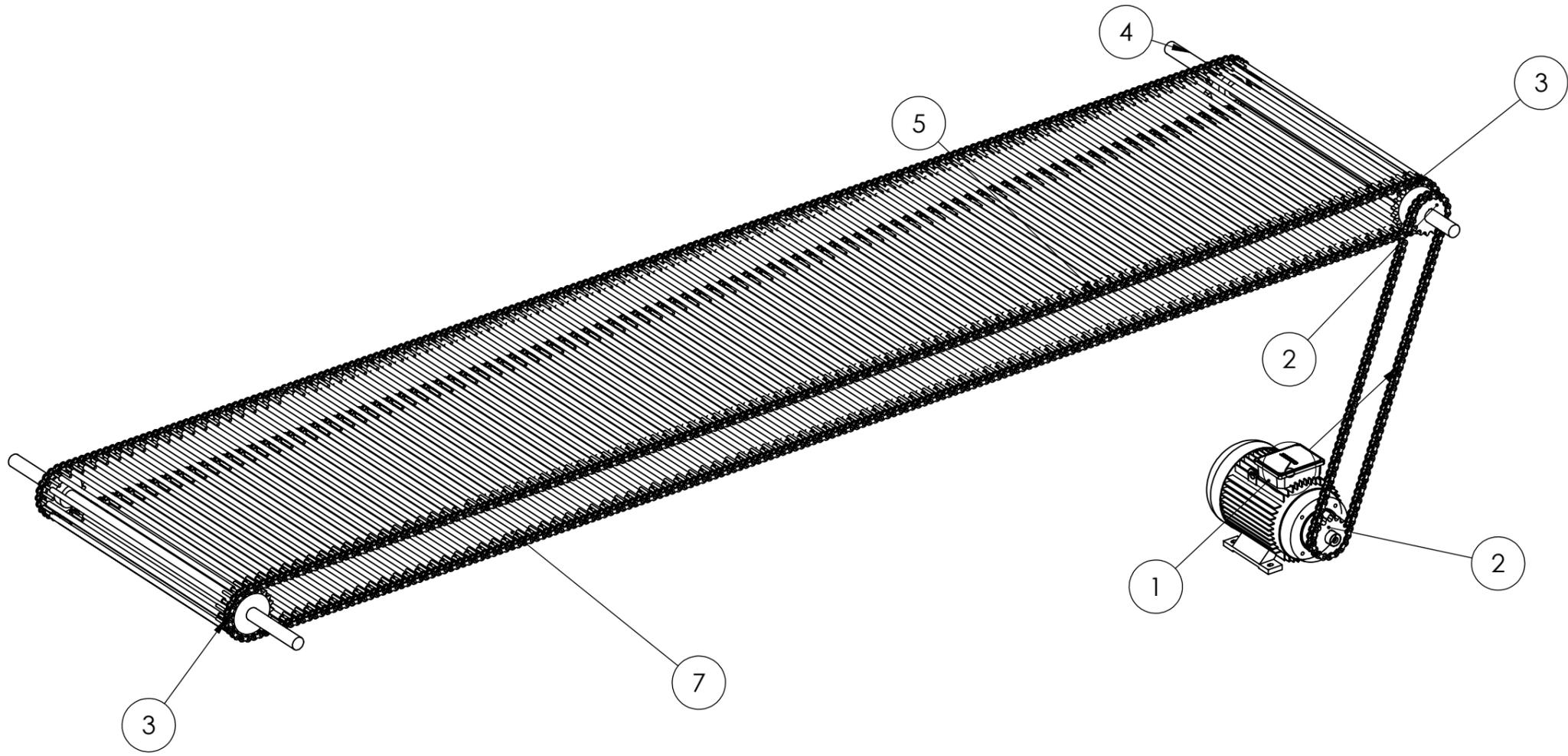
CHAPA GUARDA FRONTAL X2



ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	GUARDA SUPERIOR	CHAPA PLANCHA INOX 304 e.1.5mm	2
2	GUARDA LATERAL	CHAPA PLANCHA INOX 304 e.1.5mm	2
3	GUARDA FRONTAL	CHAPA PLANCHA INOX 304 e.1.5mm	2
4	CHUMACERA DE PARED	D. 25.4mm	4

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 ESCUELA PROFESIONAL DE ING MECANICA

EMPRESA:	TÍTULO: Diseño de un sistema de termocontraido, para optimizar la producción en la línea de empaquetado, dentro de una planta embotelladora de agua	
ASESOR: ING. DR. EDGAR CATAORA ACEVEDO	PLANO: Ensamblaje Guardas de Estructura	
MATERIAL: Acero inox calidad 304	DISEÑADO POR: Bach. Paul R. Yucra Cana.	A3 06/01/2024
UNIDADES: mm	ESCALA: 1:15	HOJA 1 DE 3



ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	MOTOREDUCTOR 1:30	0.5HP TRIFASICO	1
2	CATARINA DE MOTOR	21 DIENTES. De.80mm, Di.25.4mm	2
3	CATARINA PARA CADENA TRANS	25 DIENTES. De.100mm, Di.25.4mm	4
4	EJE	EJE INOX. D.25.4mm	1
5	CADENA TRANSPORTADORA	RS 10B-LM INOXIDABLE Lt. 5.8m	2
6	CADENA DE TRANSMICION	RS 10B-LM INOXIDABLE Lt. 1.6m	1
7	EJE HUECO	TUBO INOX D. 10mm e.1.5mm	200

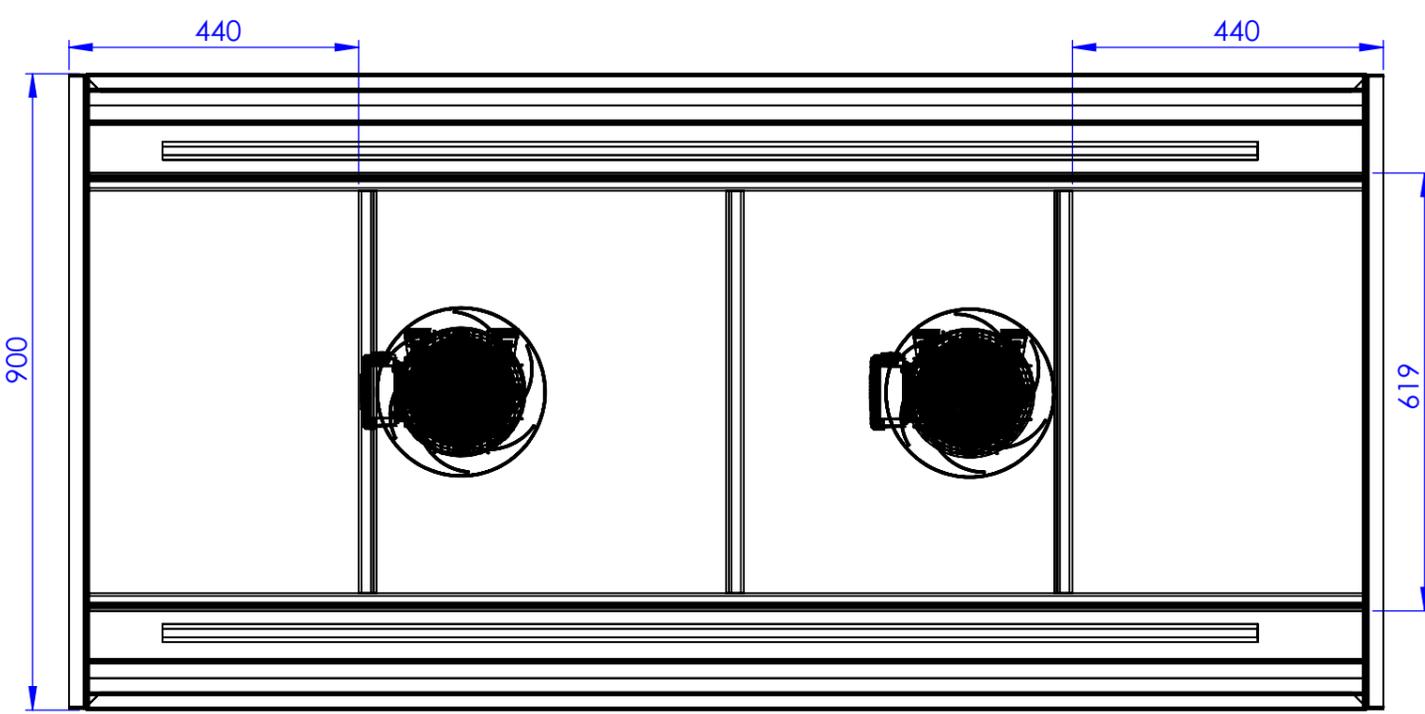
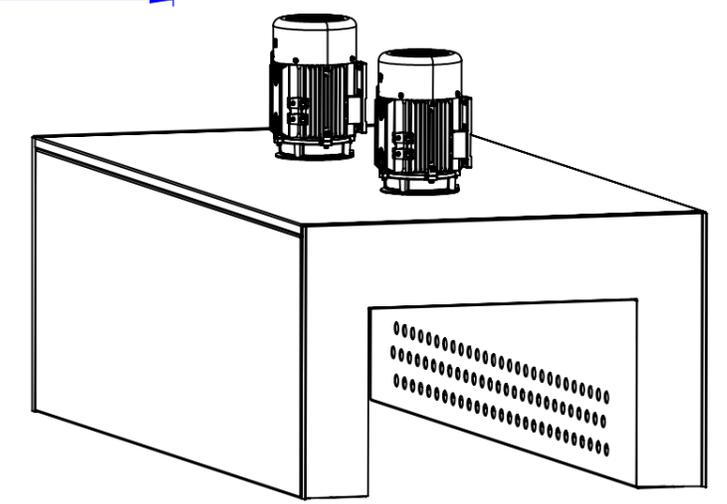
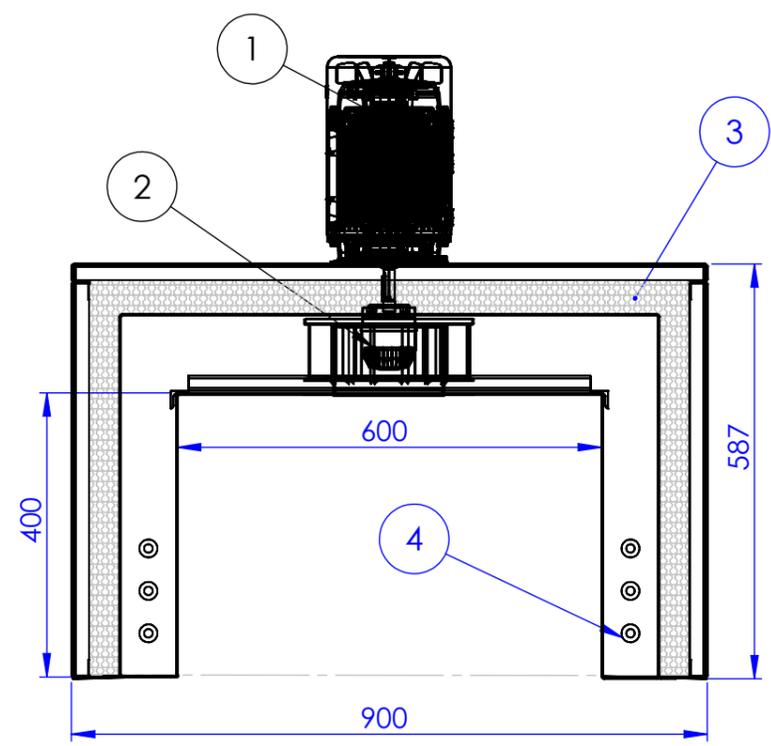
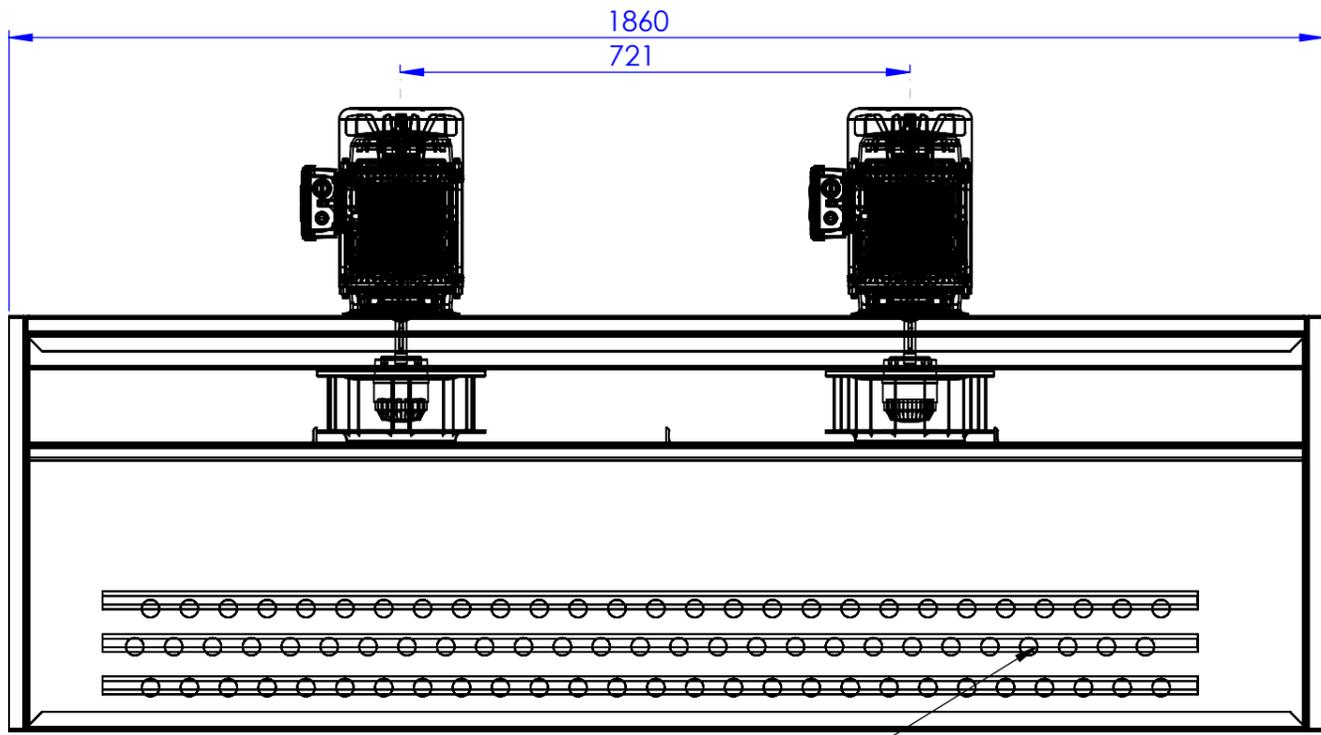


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 ESCUELA PROFESIONAL DE ING MECANICA

EMPRESA:	TÍTULO: Diseño de un sistema de termocontraido, para optimizar la produccion en la linea de empaquetado, dentro de una planta embotelladora de agua
ASESOR: ING. DR. EDGAR CATAORA ACEVEDO	PLANO: Ensamblaje Sistema de Transmicion
MATERIAL: Acero inox calidad 304	DISEÑADO POR: Bach. Paul R. Yucra Cana.
UNIDADES: mm	ESCALA:1:10
	A3 06/01/2024
	HOJA 1 DE 11

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A



ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	MOTOR ELECTRICO	TRIFASICO 0.5HP, ALTA REVOL.	2
2	VENTILADOR	VENTILADOR CENTRIFUGO D.165mm	2
3	AISLANTE	LANA DE VIDRIO e.45mm	1
4	RESITENCIA ELECTRICAS	NICROM TIPO FUSED CLAPTON 38 AWG	6

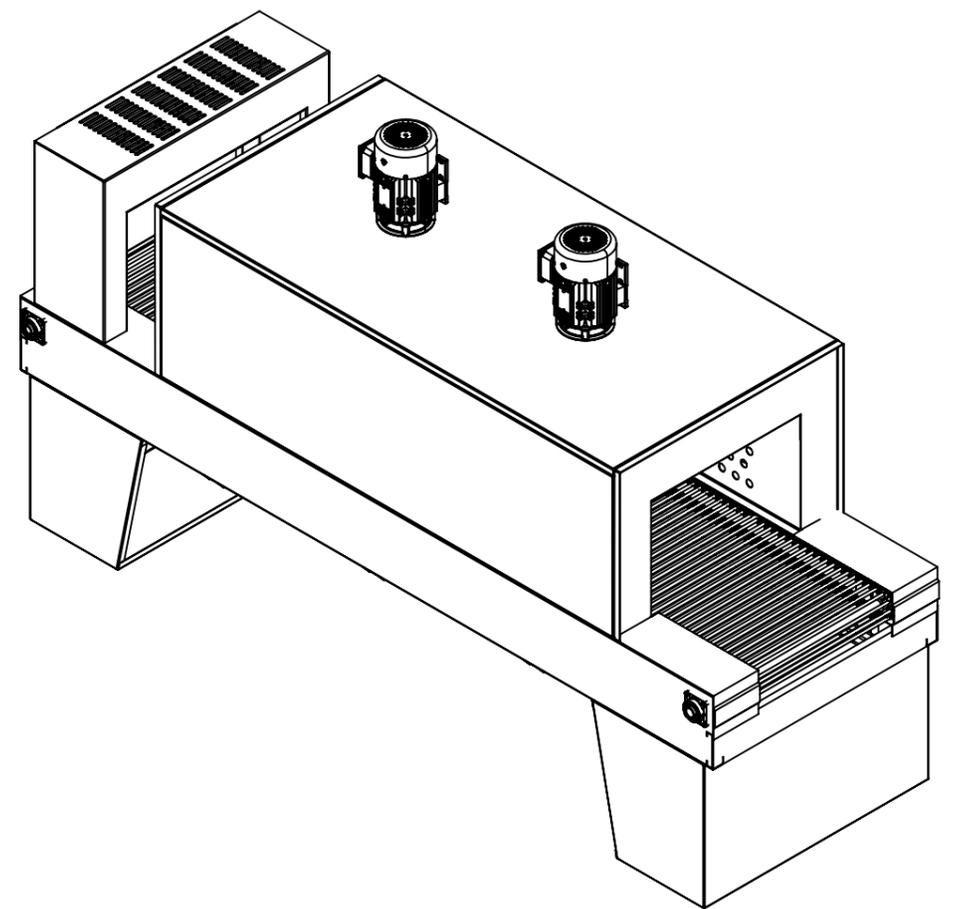
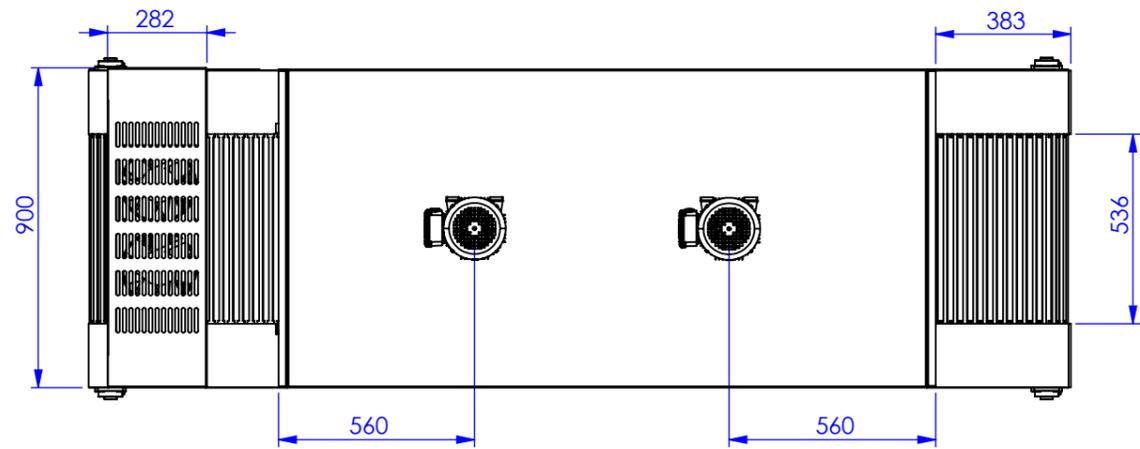
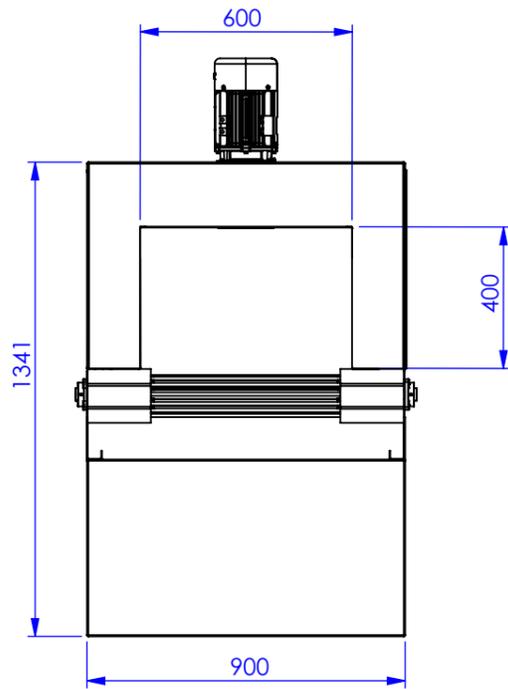
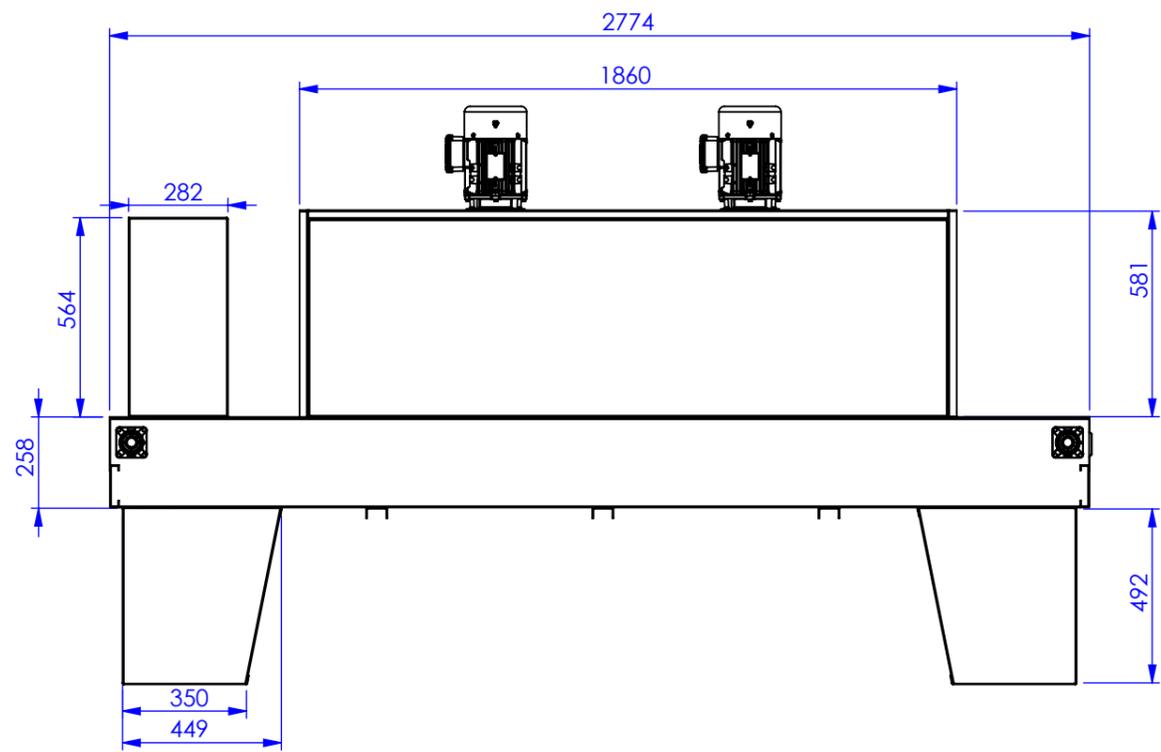


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE ING MECANICA

EMPRESA:	TÍTULO: Diseño de un sistema de termocontraido, para optimizar la producción en la línea de empaquetado, dentro de una planta embotelladora de agua
ASESOR: ING. DR. EDGAR CATAORA ACEVEDO	PLANO: Ensamblaje de Tunel Termico
MATERIAL: Acero inox calidad 304	DISEÑADO POR: Bach. Paul R. Yucra Cana.
UNIDADES: mm	ESCALA: 1:10
	HOJA 1 DE 4

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 ESCUELA PROFESIONAL DE ING MECANICA

EMPRESA:

TÍTULO: Diseño de un sistema de termocontraído, para optimizar la producción en la línea de empaquetado, dentro de una planta embotelladora de agua

ASESOR:

ING. DR. EDGAR CATAORA ACEVEDO

PLANO:

Ensamblaje general

MATERIAL:

Acero inox
 calidad 304

DISEÑADO POR:

Bach. Paul R. Yucra Cana.

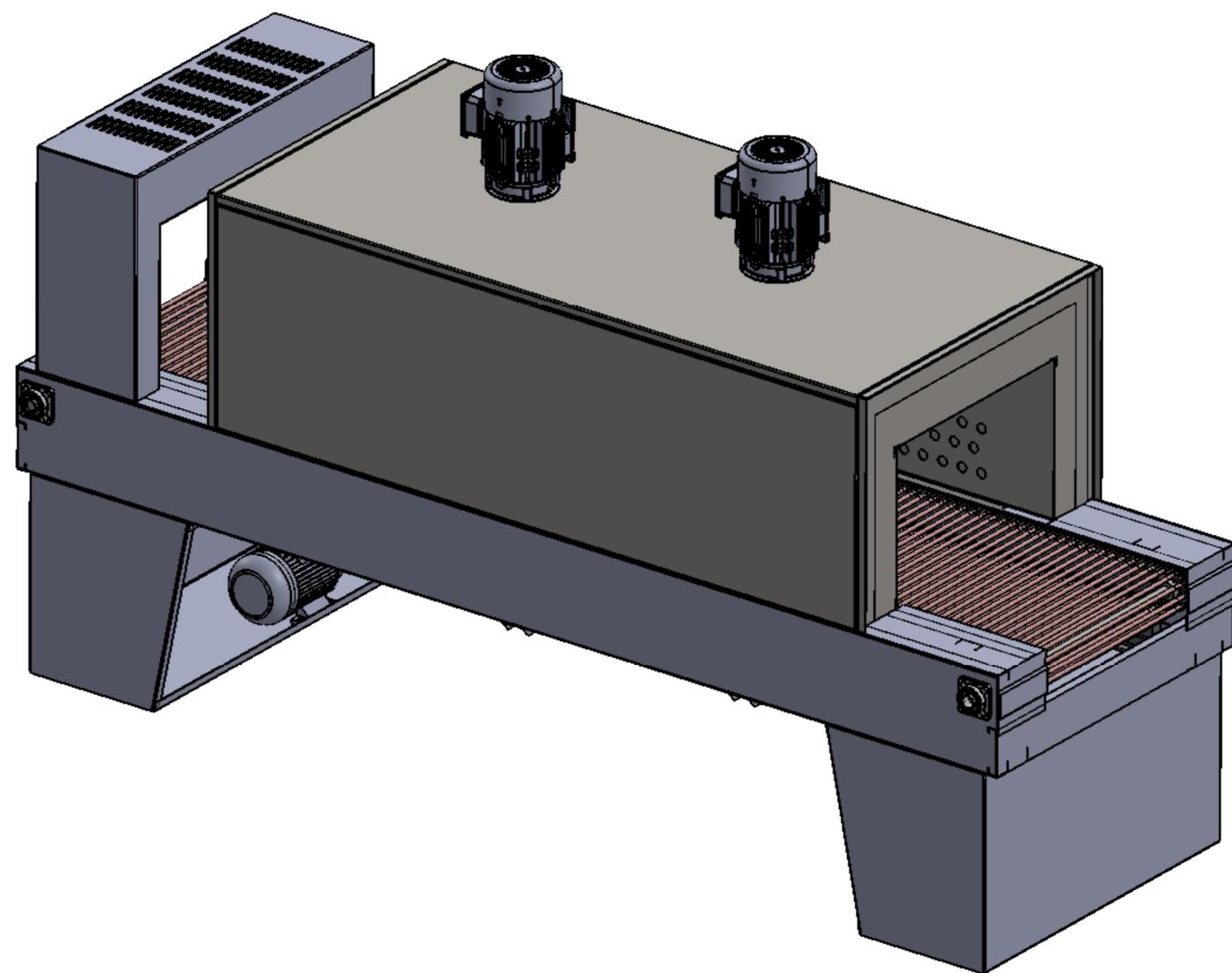
A3

06/01/2024

UNIDADES: mm

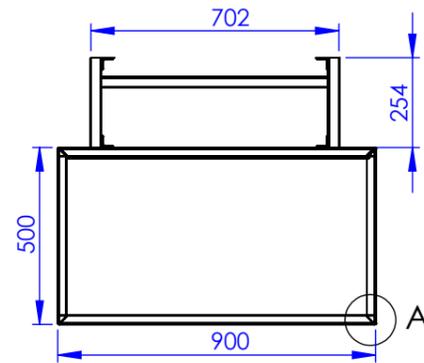
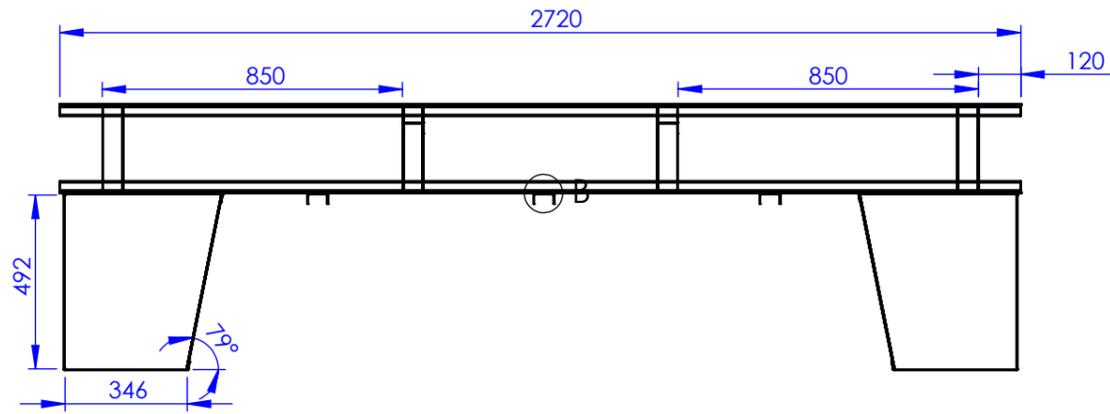
ESCALA: 1:20

HOJA 1 DE 1

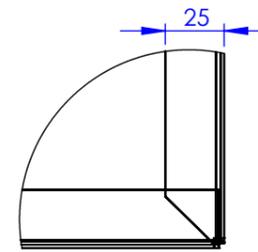


		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE ING MECANICA	
EMPRESA:		TITULO: Diseño de un sistema de termocontraido, para optimizar la producción en la línea de empaquetado, dentro de una planta embotelladora de agua	
ASESOR: ING. DR. EDGAR CATAFORA ACEVEDO		PLANO: Tunel de Termocontraido	
MATERIAL: Acero inox calidad 304		DISEÑADO POR: Bach. Paul R. Yucra Cana.	
UNIDADES: mm		ESCALA: 1:10	
		HOJA 1 DE 13	
		A2 06/01/2024	

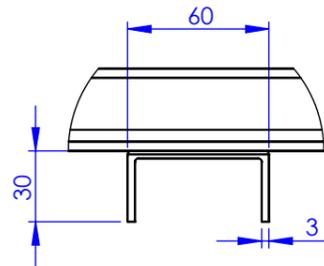
8 7 6 5 4 3 2 1



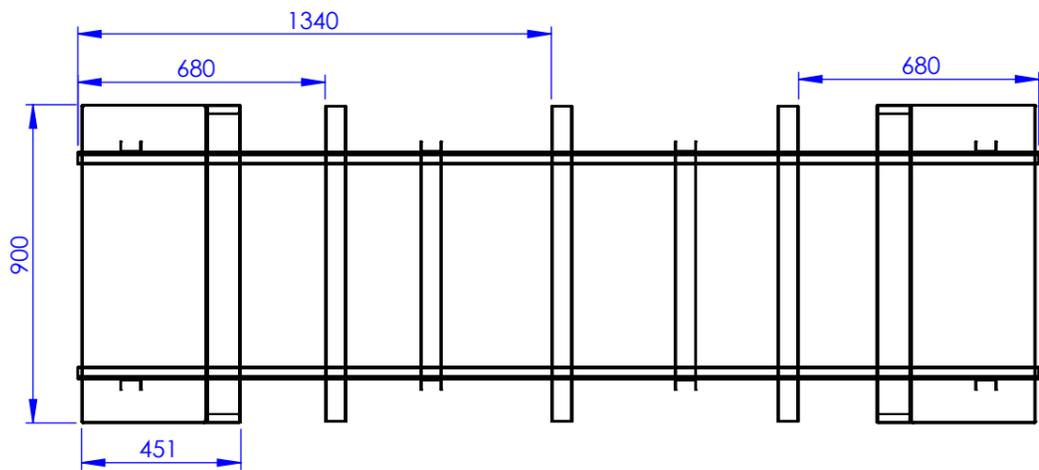
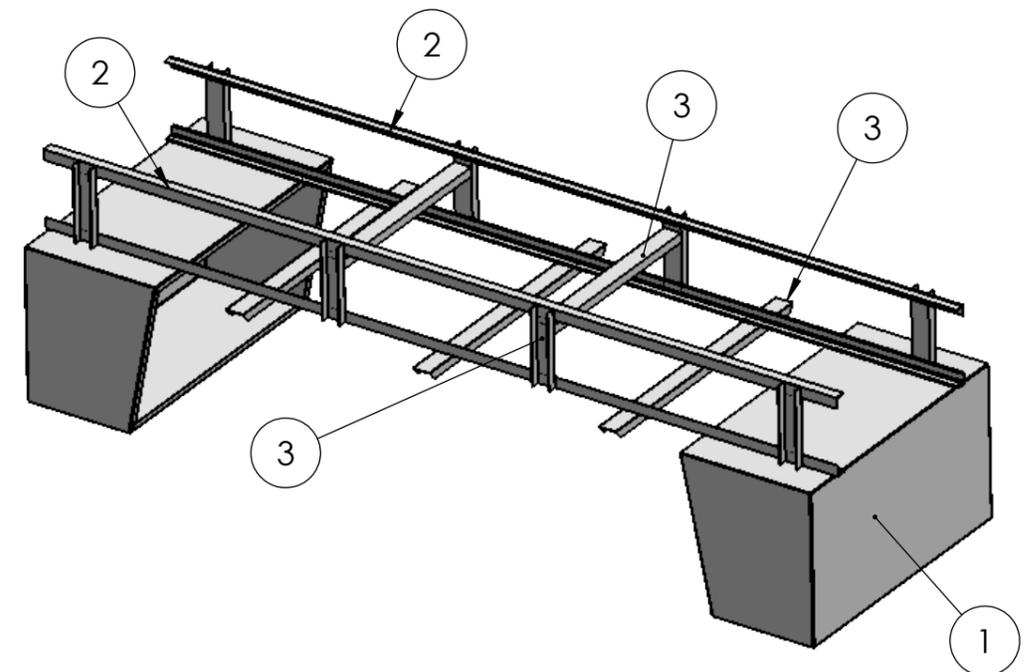
PESTAÑA DE CHAPA 25mm



DETALLE A
ESCALA 1 : 3



DETALLE B
ESCALA 1 : 3



ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	SOPORTE TRAPEZOIDAL	CHAPA PLANCHA INOX 304 e.1.5mm	2
2	VIGA SOPORTE	ANGULAR INOX 304 35X35X3.1mm	4
3	VIGAS SECUNDARIAS	PERFIL C INOX 304 60X30X3.1mm	5



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE ING MECANICA

EMPRESA:
ASESOR:
ING. DR. EDGAR CATAORA ACEVEDO

TÍTULO: Diseño de un sistema de termocontraido, para optimizar la produccion en la linea de empaquetado, dentro de una planta embotelladora de agua

PLANO:
Estructura Base

MATERIAL:
Acero inox
calidad 304

DISEÑADO POR:
Bach. Paul R. Yucra Cana.

A3

06/01/2024

8 7 6 5 4 3 2 1

8 7 6 5 4 3 2 1

F F

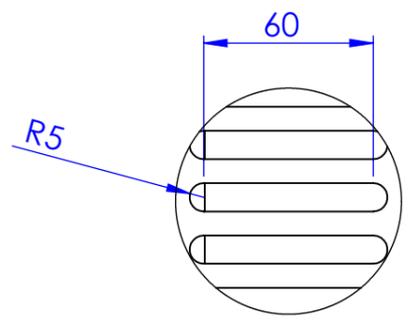
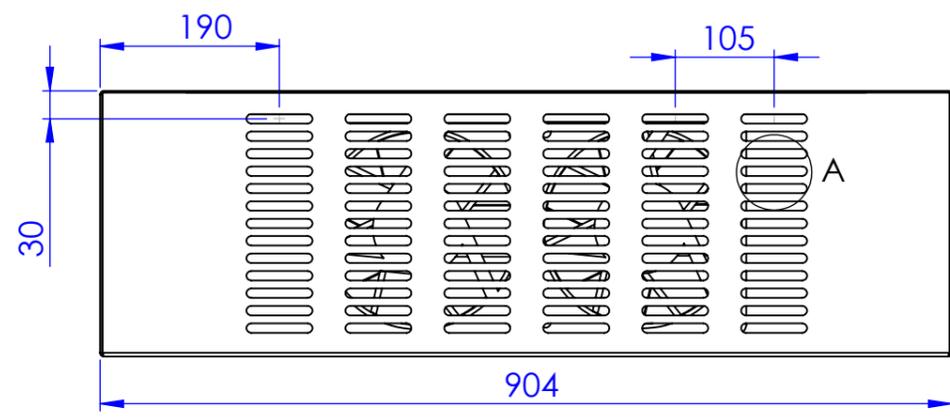
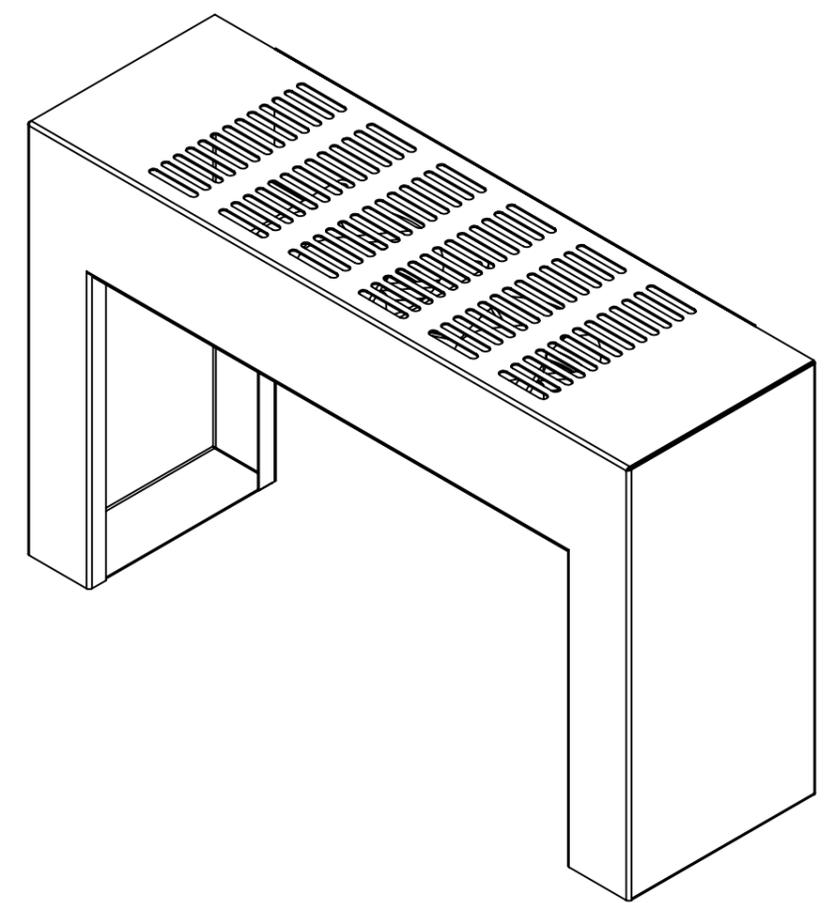
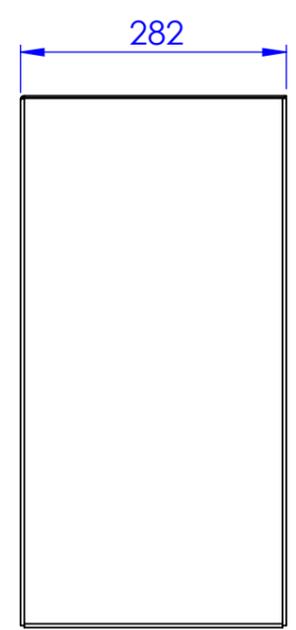
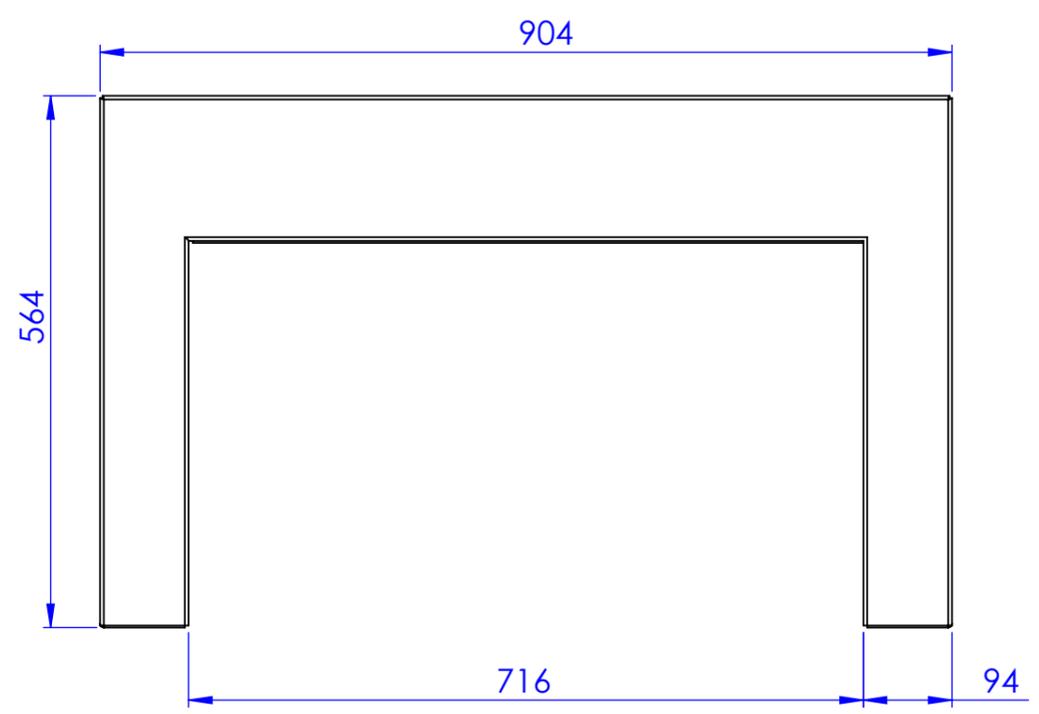
E E

D D

C C

B B

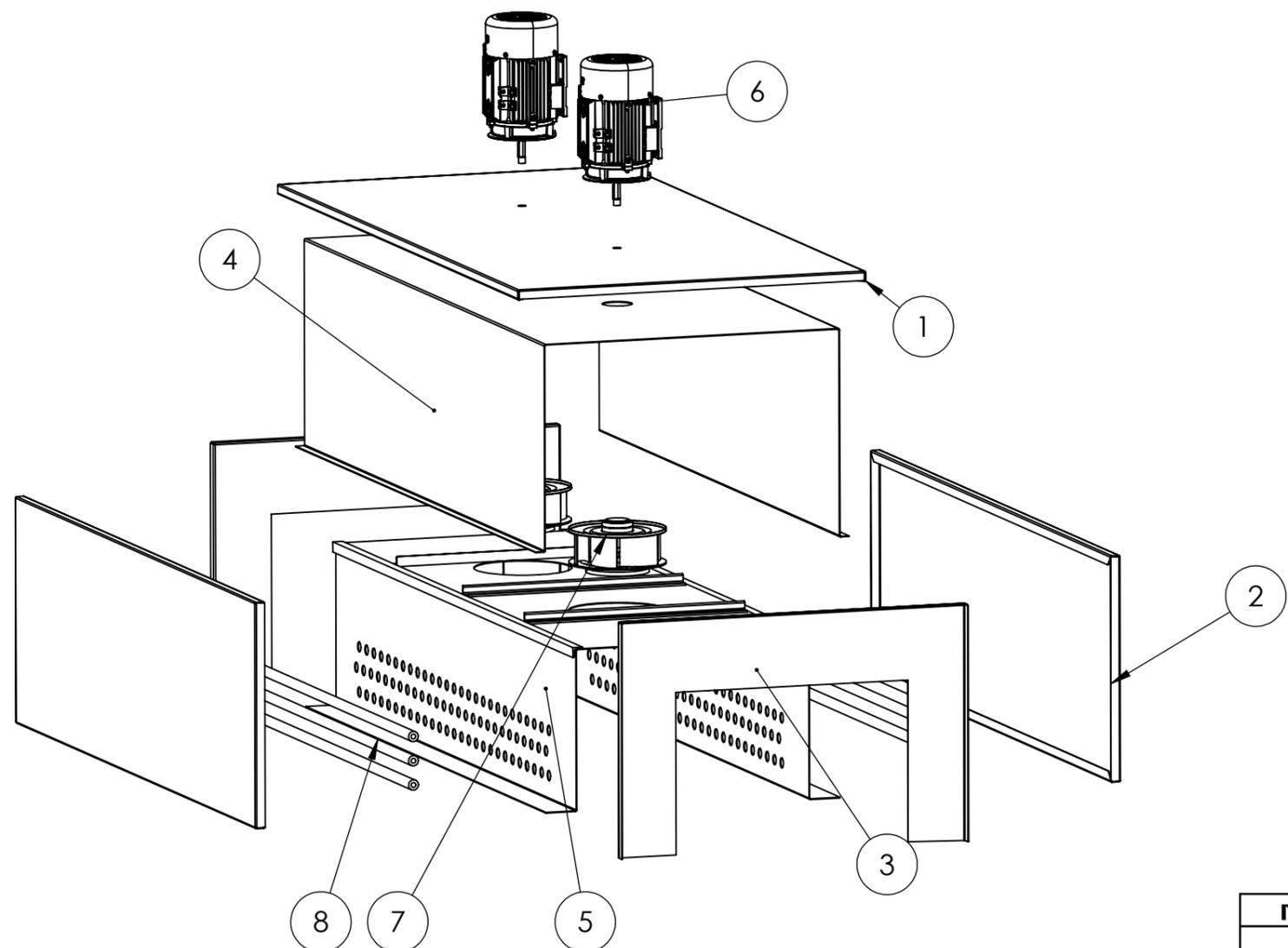
A A



DETALLE A x78
ESCALA 2 : 5

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE ING MECANICA			
EMPRESA:		TÍTULO: Diseño de un sistema de termocontraido, para optimizar la produccion en la linea de empaquetado, dentro de una planta embotelladora de agua	
ASESOR: ING. DR. EDGAR CATAORA ACEVEDO		PLANO: Ensamblaje Enfriador	
MATERIAL: Acero inox calidad 304		DISEÑADO POR: Bach. Paul R. Yucra Cana.	
UNIDADES: mm		ESCALA:1:7.5	
		HOJA 1 DE 9	
		A3 06/01/2024	

8 7 6 5 4 3 2 1



ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	TAPA EXTERIOR SUPERIOR	CHAPA INOX 1.5mm	2
2	TAPA EXTERIOR LATERAL	CHAPA INOX 1.5mm	2
3	ENTRADAS DE TUNEL	CHAPA INOX 1.5mm	2
4	CUBIERTA INTERIOR	CHAPA INOX 1.5mm	1
5	TUNEL INTERNO RANURADO	CHAPA INOX 1.5mm	1
6	MOTOR ELECTRICO	TRIFASICO 0.5HP ALTA REVOL.	2
7	VENTILADOR	VENTILADOR CENTRIFUGO D.165mm	2
8	RESITENCIA	NICROM TIPO FUSED CLAPTON 38 AW	6



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 ESCUELA PROFESIONAL DE ING MECANICA

EMPRESA: ASESOR: ING. DR. EDGAR CATAORA ACEVEDO	TÍTULO: Diseño de un sistema de termocontraido, para optimizar la produccion en la linea de empaquetado, dentro de una planta embotelladora de agua PLANO: <h2 style="margin: 0;">Explosion Tunel de Calor</h2>
MATERIAL: Acero inox calidad 304	DISEÑADO POR: Bach. Paul R. Yucra Cana.

UNIDADES: mm
ESCALA: 1:15
HOJA 1 DE 5

A3
06/01/2024

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A

8 7 6 5 4 3 2 1

8 7 6 5 4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

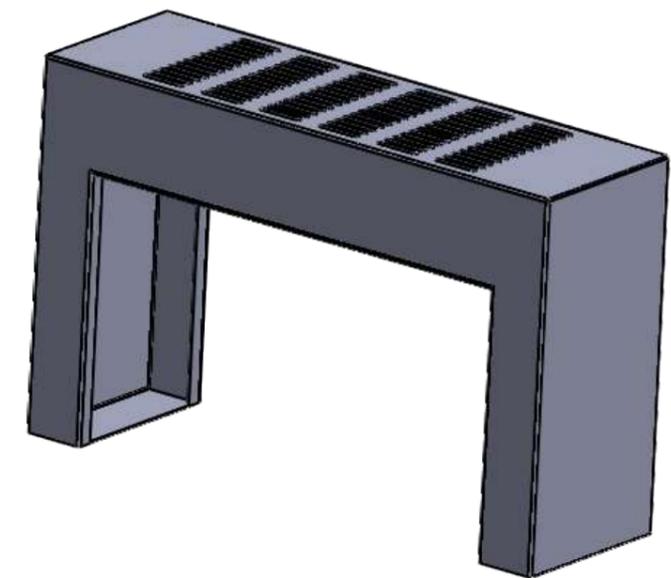
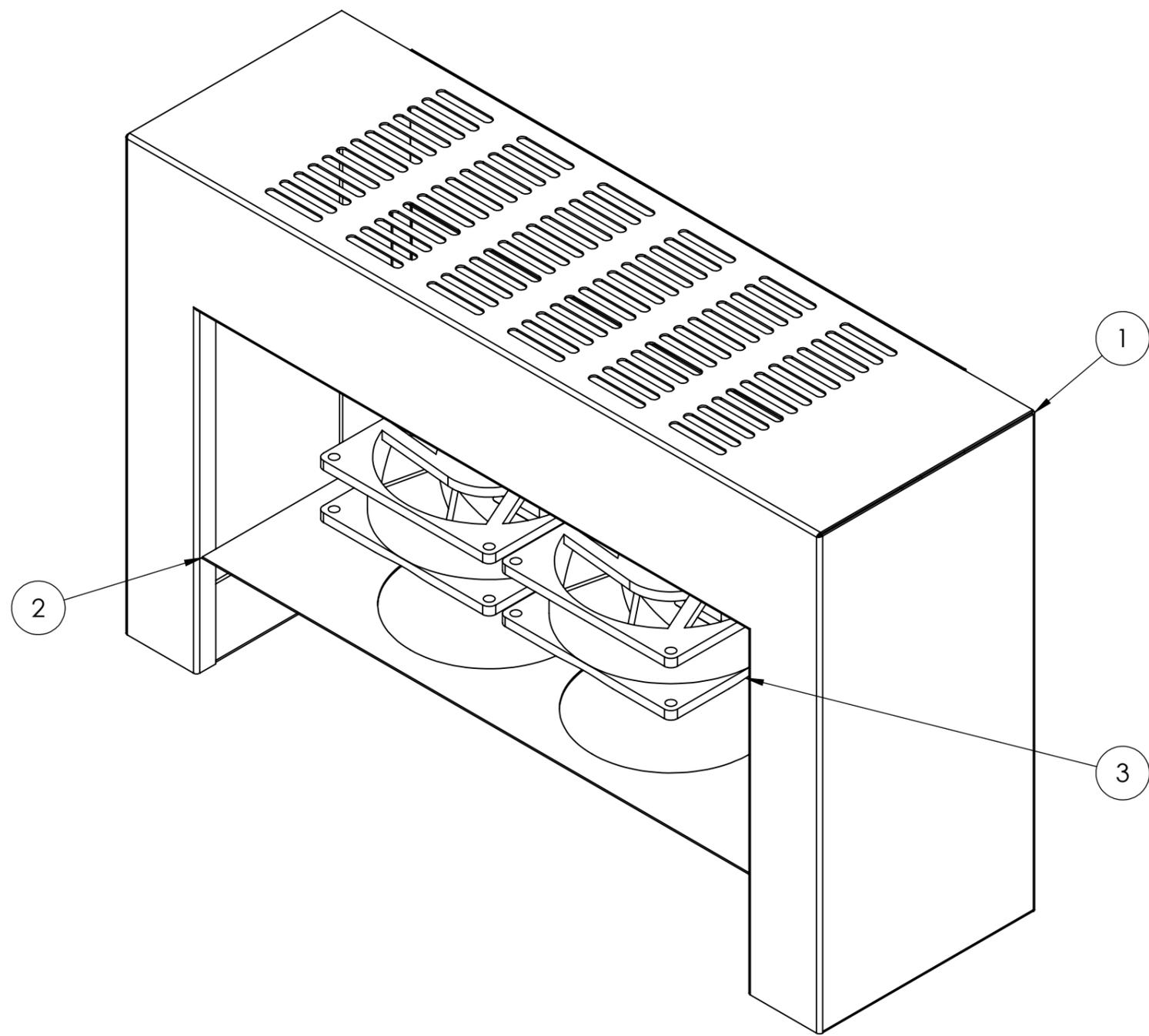
C

B

B

A

A



ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	GUARDA DE ENFRIAMIENTO	CHAPA PLANCHA INOX 304 e.1.5mm	1
2	VENTILADORES	VENTILADOR AXIAL D.205mm	2
3	TAPA INFERIOR	CHAPA PLANCHA INOX 304 e.1.5mm	1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 ESCUELA PROFESIONAL DE ING MECANICA

EMPRESA:

ASESOR:
ING. DR. EDGAR CATAORA ACEVEDO

MATERIAL:
Acero inox calidad 304

TÍTULO: Diseño de un sistema de termocontraido, para optimizar la produccion en la linea de empaquetado, dentro de una planta embotelladora de agua

PLANO:
Explosion Tunel de Enfriamiento

DISEÑADO POR:
Bach. Paul R. Yucra Cana.

UNIDADES: mm

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 10

A3

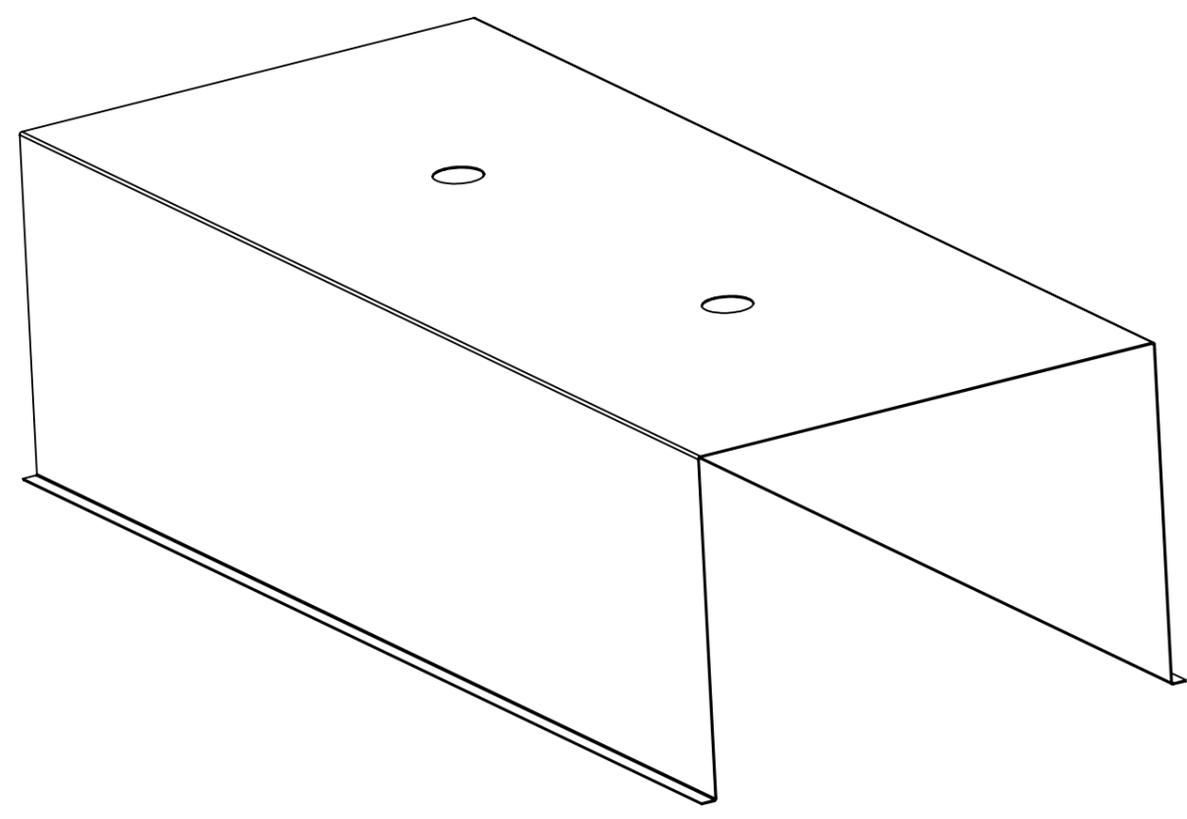
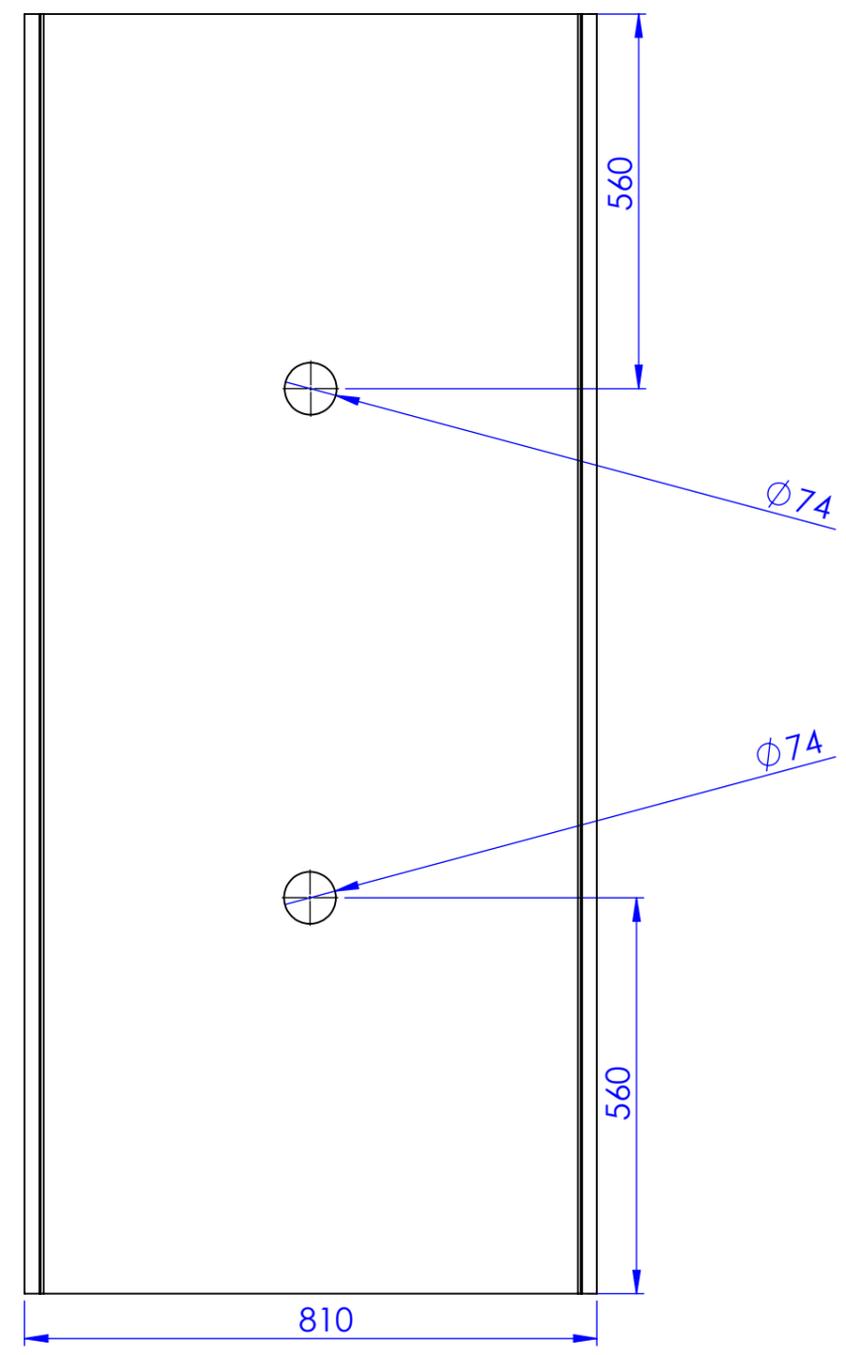
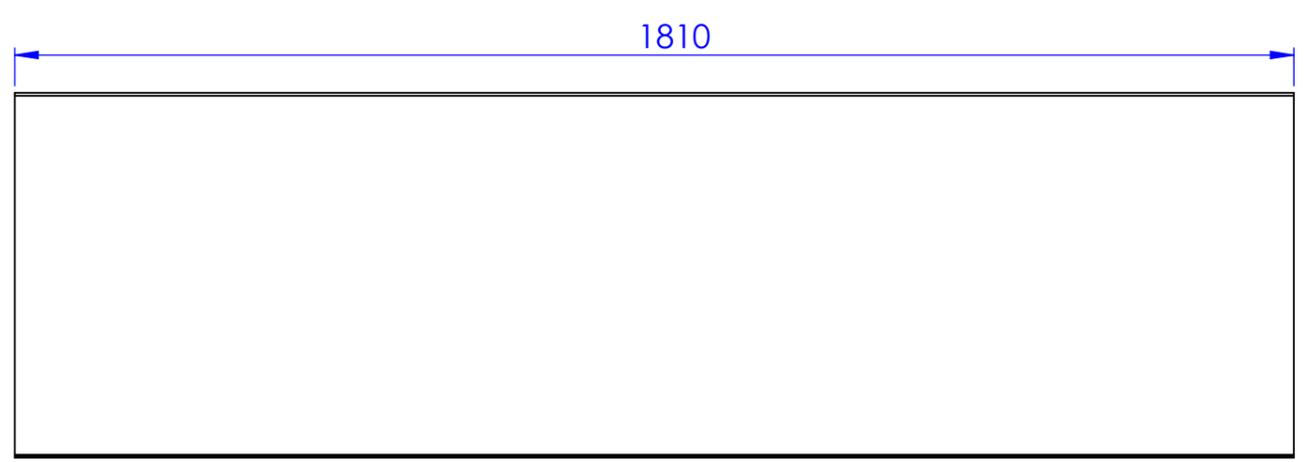
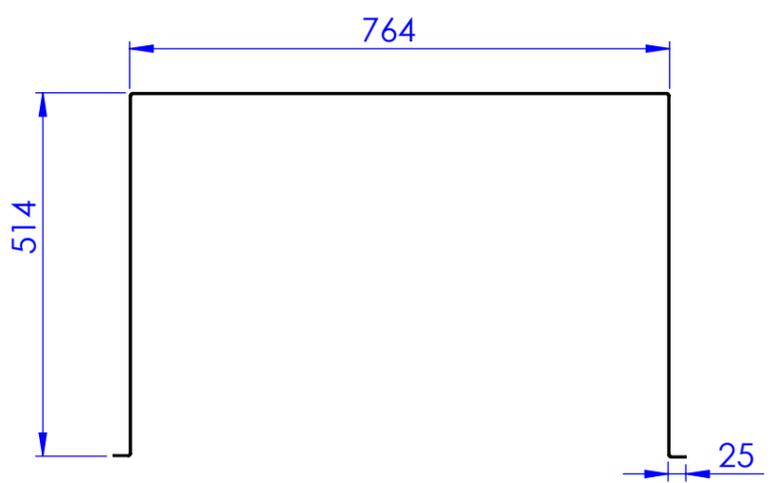
06/01/2024

8 7 6 5 4 3 2 1

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A



CHAPA INOX 1.5mm

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE ING MECANICA		TÍTULO: Diseño de un sistema de termocontraido, para optimizar la produccion en la linea de empaquetado, dentro de una planta embotelladora de agua	
EMPRESA:		PLANO: Cubierta Interior	
ASESOR: ING. DR. EDGAR CATAORA ACEVEDO		DISEÑADO POR: Bach. Paul R. Yucra Cana.	
MATERIAL: Acero inox calidad 304		UNIDADES: mm	
ESCALA: 1:10		HOJA 1 DE 7	
A3		06/01/2024	

8 7 6 5 4 3 2 1

8 7 6 5 4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

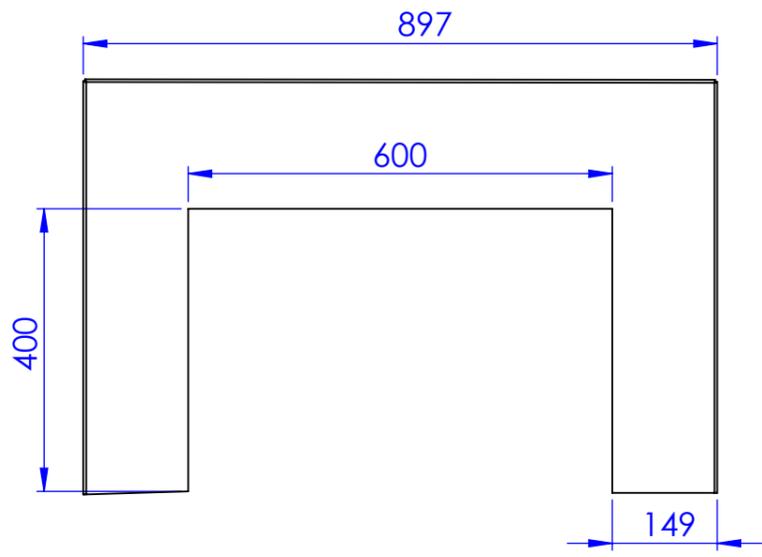
C

B

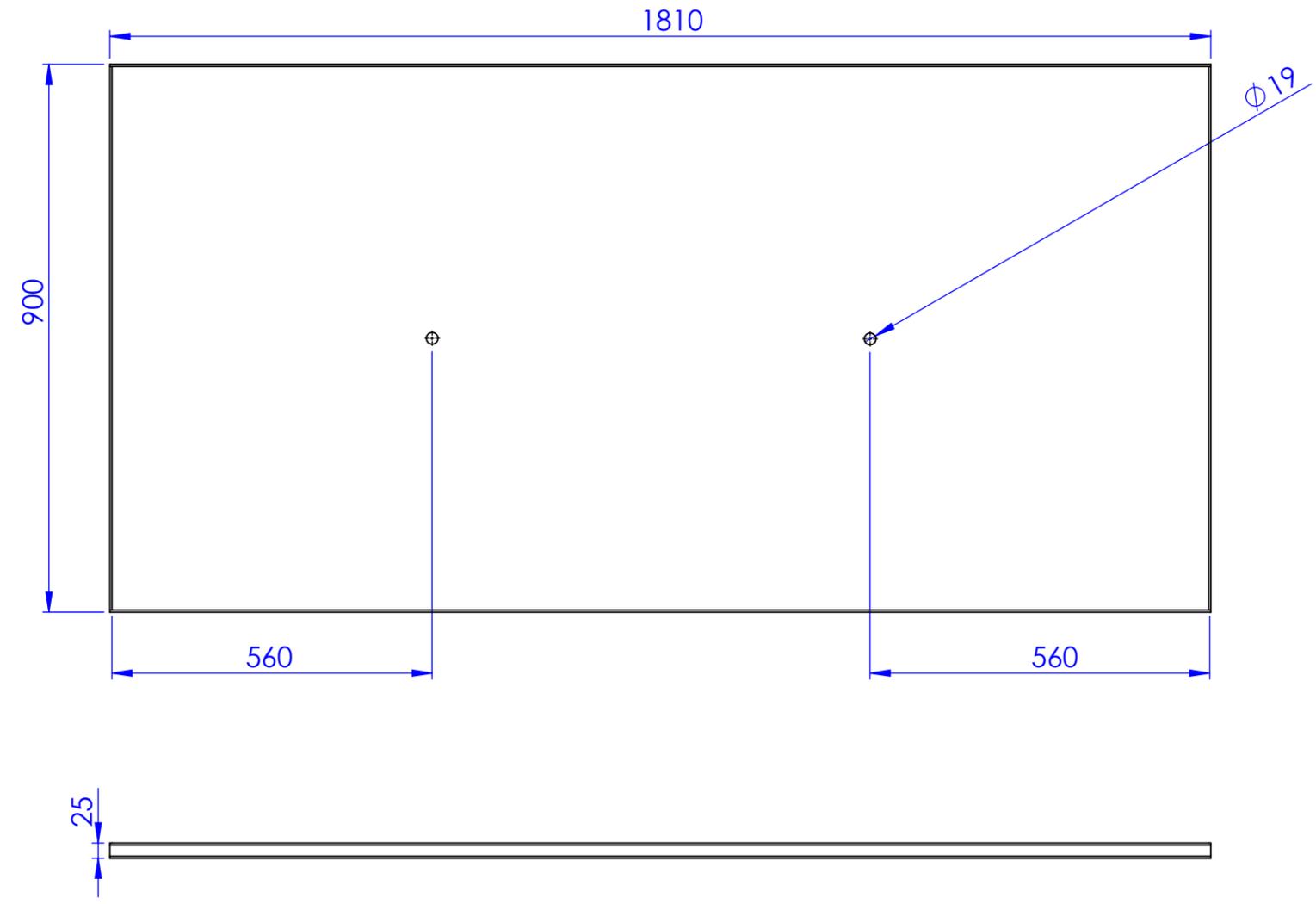
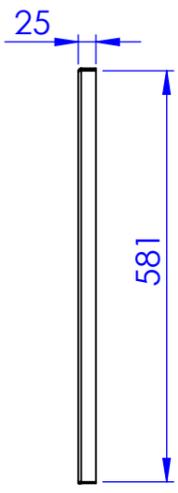
B

A

A



ENTRADAS DE TUNEL X2
CHAPA INOX 1.5mm



TAPA SUPERIOR
CHAPA INOX 1.5mm

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE ING MECANICA	
EMPRESA: ASESOR: ING. DR. EDGAR CATAORA ACEVEDO	TÍTULO: Diseño de un sistema de termocontraido, para optimizar la produccion en la linea de empaquetado, dentro de una planta embotelladora de agua PLANO: Tapa Superior - Entradas de Tunel
MATERIAL: Acero inox calidad 304	DISEÑADO POR: Bach. Paul R. Yucra Cana.
UNIDADES: mm	ESCALA: 1:10
HOJA 1 DE 8	A3 06/01/2024

8 7 6 5 4 3 2 1